

**SÉRGIO MICHELOTTO BRAGA**

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE SENSORES  
AUTOMÁTICOS HIDROAMBIENTAIS:  
ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO BARIGUI.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Cristóvão Vicente  
Scapulatempo Fernandes,  
PhD.

Co-orientador: Iraní dos Santos, Mestre.

**CURITIBA  
2005**

# **TERMO DE APROVAÇÃO**

**SERGIO MICHELOTTO BRAGA**

## **ANÁLISE DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE SENSORES AUTOMÁTICOS HIDROAMBIENTAIS: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO BARIGÜI.**

**Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre no  
Curso de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor  
de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná,.**

Orientador: Prof. Cristóvão Vicente Scapulatempo Fernandes, PhD,  
Departamento de Hidráulica e Saneamento, UFPR

Co-orientador: Prof. Iraní dos Santos, Mestre,  
Departamento de Geografia, UFPR

Prof. Sérgio Koide, PhD,  
Departamento de Hidráulica, UNB

Selma Regina  
Pesquisadora do LACTEC-LEMMA

Curitiba, 23 de Setembro de 2005

## DEDICATÓRIA

Cristina, este trabalho é dedicado a você. Sua coragem e sua persistência iluminaram o caminho que percorri. Obrigado pela sua dedicação, pelo seu carinho e pelo seu amor.

## **AGRADECIMENTOS**

Embora seja um trabalho individual, esta tese é parte de um esforço que tem sido realizado pela coordenação e pelos professores do Curso de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. A eles, em primeiro lugar, agradeço o apoio, o ambiente de trabalho, as sugestões e a liberdade que desfrutei ao longo dos meus estudos.

O aprendizado da amizade é a parte mais gratificante da experiência humana. Josete, Márcia, Gisele, Ricardo, Nicolás, Jonas, obrigado por esta contribuição inestimável a minha vida.

Este trabalho não teria sido possível sem o suporte incondicional de meu Co-Orientador, Iraní dos Santos, que me franqueou acesso a equipamentos novos e disponibilizou, sem restrições, seu conhecimento sobre o assunto. Seja bem vindo à UFPR, Professor Iraní.

Cristóvão, Amigo e Orientador. Seu suporte, compreensão e carinho foram imprescindíveis em todas as horas. Conte comigo para o que precisar. Espero poder retribuir um dia todo o bem que recebi por seu intermédio.

Agradeço especialmente ao Prof. Eloy Kaviski e ao LACTEC/CEHPAR, pelo suporte pessoal que me foi dado para a viabilização deste trabalho.

Da mesma forma, agradeço ao CTHIDRO/FINEP, patrocinadores do Projeto Barigui, pelo suporte operacional e equipamentos disponibilizados à esta pesquisa.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xii</b>
<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 EVIDÊNCIAS DE INTERESSE: O PROBLEMA DO MONITORAMENTO DE QUANTIDADE E QUALIDADE E QUALIDADE DE ÁGUA.....	2
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	5
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	5
<b>2 MONITORAMENTO ELETRÔNICO – PRINCÍPIOS E CONCEITOS.....</b>	<b>7</b>
2.1 DATALOGGERS.....	9
2.2 SENSORES.....	12
2.2.1 Sensores de Nível.....	14
2.2.1.1 Processo bóia e contra-peso.....	14
2.2.1.2 Analogia nível pressão – O efeito piezoelétrico.....	15
2.2.2 Sensores de Precipitação.....	17
2.2.3 Sensores de Temperatura.....	17
2.2.4 Sensores de Condutividade.....	18
2.2.5 Sensores de Ph.....	19
2.2.6 Sensores de Oxigênio Dissolvido (OD).....	19
2.3 ANÁLISE CRÍTICA.....	20
<b>3 ABORDAGEM METODOLÓGICA – O ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO BARIGÜÍ.....</b>	<b>21</b>
3.1 A BACIA DO RIO BARIGÜÍ (BRB).....	21
3.2 ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO AUTOMÁTICO DA BRB.....	23
3.3 SITUAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO AUTOMÁTICA EM JANEIRO DE 2003.....	30

3.4 ESTRATÉGIAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS INFORMAÇÕES ELETRÔNICAS.....	31
3.5 O PROCESSO DE REGISTRO EM CANAL ANALÓGICO DE DATALOGGER.....	33
3.6 ANÁLISE CRÍTICA.....	36
<b>4 AVALIAÇÃO DOS SENSORES ELETRÔNICOS COM BASE EM PROCEDIMENTOS EM CAMPO.....</b>	<b>37</b>
4.1 AVALIAÇÃO DAS INSTALAÇÕES.....	37
4.2 SISTEMATIZAÇÃO DAS EXPERIÊNCIAS.....	46
4.3 SENSORES DE NÍVEL.....	50
4.4 SENSORES DE TEMPERATURA.....	58
4.5 SENSORES DE CONDUTIVIDADE.....	62
4.6 SENSORES DE pH.....	67
4.7 SENSORES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO.....	68
4.8 ANÁLISE CRÍTICA.....	70
<b>5 AVALIAÇÃO DOS SENSORES ELETRÔNICOS COM BASE EM PROCEDIMENTOS EM LABORATÓRIO.....</b>	<b>71</b>
5.1 AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS SENSORES.....	71
5.2 SENSOR DE TEMPERATURA WQ 301.....	76
5.3 SENSORES DE NÍVEL WL 300 E PTX 1830.....	81
5.3.1 Avaliação da Influência da Temperatura Sobre o Sensor de Nível WL300.....	88
5.3.2 Avaliação dos Erros.....	94
5.4 PERFORMANCE DE SENSORES DE NÍVEL EM PROFUNDIDADES MAIORES.....	100
5.5 SENSORES DE PRECIPITAÇÃO.....	106
5.6 ANÁLISE CRÍTICA.....	120
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>121</b>
<b>REFÊRENCIAS.....</b>	<b>125</b>
<b>ANEXO 1 - CAUSAS DO DESMONTE DA ESTAÇÃO PARQUE BARIGÜI.....</b>	<b>128</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	EXEMPLO DEMONSTRATIVO DA RESPOSTA DOS TRANSDUTORES .....	13
FIGURA 2	PROCESSO DE LINEARIZAÇÃO DE RESPOSTA DE UM SENSOR TEÓRICO.....	13
FIGURA 3	MAPA DA LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO BARIGÜI.....	21
FIGURA 4	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS.....	23
FIGURA 5	VISTA DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ.....	25
FIGURA 6	ESQUEMA DE FIXAÇÃO DOS SENSORES – ESTAÇÃO TAMANDARÉ.....	26
FIGURA 7	VISTA DA ESTAÇÃO PARQUE TINGÜI.....	27
FIGURA 8	VISTA DA ESTAÇÃO PARQUE BARIGÜI.....	28
FIGURA 9	VISTA PARCIAL DA ESTAÇÃO PIÁ AMBIENTAL.....	29
FIGURA 10	ESQUEMA DE MONTAGEM DOS SENSORES.....	30
FIGURA 11	PROCESSO DE LEITURA DE VALORES REGISTRADOS EM DATALOGGERS.....	34
FIGURA 12	ESQUEMA DE MONTAGEM DOS SENSORES (ESTAÇÃO TAMANDARÉ).....	38
FIGURA 13	DETALHE DO ESQUEMA DE MONTAGEM DOS SENSORES.....	38
FIGURA 14	DETALHE DO ESQUEMA DE MONTAGEM DOS SENSORES.....	39
FIGURA 15	SENSORES ESTAÇÃO TAMANDARÉ EM DIA DE MAIOR VAZÃO.....	40
FIGURA 16	RÉGUA E SUPORTE DOS SENSORES DA ESTAÇÃO PIÁ AMBIENTAL.....	42
FIGURA 17	RÉGUA E SUPORTE DOS SENSORES DA ESTAÇÃO PARQUE TINGÜI.....	43
FIGURA 18	DETALHE DA RÉGUA DA ESTAÇÃO PARQUE TINGÜI.....	43
FIGURA 19	FORMAÇÃO DE ALGAS SOBRE OS SENSORES DA ESTAÇÃO PARQUE TINGÜI.....	44
FIGURA 20	DETALHE DAS ALGAS SOBRE OS SENSORES DA ESTAÇÃO PARQUE TINGÜI.....	45
FIGURA 21	ARQUIVO DE SAÍDA PADRÃO TXT.....	47
FIGURA 22	GRÁFICO CONTENDO INFORMAÇÕES DE PRECIPITAÇÃO E NÍVEL.....	48
FIGURA 23	GRÁFICO CONTENDO INFORMAÇÕES DE TEMPERATURA E CONDUTIVIDADE.....	49
FIGURA 24	GRÁFICO CONTENDO INFORMAÇÕES DE pH E OD.....	49
FIGURA 25	TELA DE ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO DO SENSOR DE NÍVEL DA ESTAÇÃO PARQUE TINGÜI.....	52
FIGURA 26	CÁLCULO DE UMA NOVA EQUAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA PARA O SENSOR DE NÍVEL DA ESTAÇÃO PARQUE TINGÜI.....	54
FIGURA 27	DESEMPENHO DO SENSOR COM A NOVA EQUAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA.....	56
FIGURA 28	TELA DE ACOMPANHAMENTO DO SENSOR DE NÍVEL DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ.....	57

FIGURA 29	RESPOSTA EM TENSÃO DO SENSOR DE NÍVEL DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ.....	58
FIGURA 30	DESEMPENHO DO SENSOR DE TEMPERATURA DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ.....	59
FIGURA 31	DESEMPENHO DO SENSOR DE TEMPERATURA DA ESTAÇÃO PARQUE TINGÜI.....	59
FIGURA 32	TELA DE ACOMPANHAMENTO DO SENSOR DE TEMPERATURA DA ESTAÇÃO PARQUE TINGÜI.....	60
FIGURA 33	ANÁLISE DE DESEMPENHO DO SENSOR DE TEMPERATURA DA ESTAÇÃO PARQUE TINGÜI APÓS 23/10/2003.....	61
FIGURA 34	RESPOSTA DO SENSOR DE CONDUTIVIDADE DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ, REGISTRADA NAS QUATRO PRIMEIRAS VISITAS.....	62
FIGURA 35	RESULTADO DA APLICAÇÃO DA NOVA FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DO SENSOR DE CONDUTIVIDADE DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ.....	63
FIGURA 36	CONDUTIVIDADE REAL VERSUS CONDUTIVIDADE MEDIDA PELO SENSOR DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ.....	65
FIGURA 37	DESEMPENHO DO SENSOR DE CONDUTIVIDADE DA ESTAÇÃO PARQUE TINGÜI.....	66
FIGURA 38	DESEMPENHO DO SENSOR DE pH DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ.....	67
FIGURA 39	DESEMPENHO DO SENSOR DE pH DA ESTAÇÃO PARQUE TINGÜI.....	68
FIGURA 40	DESEMPENHO DO SENSOR DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ.....	69
FIGURA 41	DESEMPENHO DO SENSOR DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO DA ESTAÇÃO PARQUE TINGÜI.....	69
FIGURA 42	ESQUEMA DOS TESTES INICIAIS.....	72
FIGURA 43	CIRCUITO PARA CALIBRAÇÃO DE SENSORES ELETRÔNICOS.....	76
FIGURA 44	EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS UTILIZADOS NA PESQUISA.....	77
FIGURA 45	ESQUEMA DO ENSAIO DE CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE TEMPERATURA.....	78
FIGURA 46	PRIMEIRO ESTÁGIO DE CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE TEMPERATURA.....	79
FIGURA 47	SEGUNDO ESTÁGIO DE CALIBRAÇÃO.....	80
FIGURA 48	TERCEIRO ESTÁGIO DE CALIBRAÇÃO.....	80
FIGURA 49	MAL FUNCIONAMENTO DO SENSOR WL 300 – INÍCIO DA PANE.....	82
FIGURA 50	MAL FUNCIONAMENTO DO SENSOR WL 300 – PANE TOTAL.....	82
FIGURA 51	MAL FUNCIONAMENTO DO SENSOR WL 300 – RESPOSTA INADEQUADA NA ESTAÇÃO PARQUE TINGÜI.....	83
FIGURA 52	ESQUEMA DE CONSTRUÇÃO DOS SENSORES DE NÍVEL .....	85
FIGURA 53	DETALHE DO SENSOR PTX 1830.....	85



FIGURA 54	DETALHE DO SENSOR WL 300.....	86
FIGURA 55	ESQUEMA DO TESTE ESTÁTICO.....	88
FIGURA 56	ENSAIO ESTÁTICO DE NÍVEL COM VARIAÇÃO DE TEMPERATURA.....	89
FIGURA 57	ESQUEMA DO TESTE ESTÁTICO DA VARIAÇÃO DA LEITURA DE NÍVEL PROVOCADA PELA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA.....	91
FIGURA 58	VARIAÇÃO DE NÍVEL REGISTRADA EM TESTE ESTÁTICO.....	92
FIGURA 59	VARIAÇÃO DA RESPOSTA EM VOLTS PRODUZIDA PELO SENSOR WL300 EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA.....	93
FIGURA 60	CÁLCULO DA EQUAÇÃO DE COMPENSAÇÃO TÉRMICA PARA O SENSOR WL300.....	94
FIGURA 61	DESCARGA DO TANQUE EXPERIMENTAL.....	95
FIGURA 62	ESQUEMA DOS TESTES DINÂMICOS.....	96
FIGURA 63	ERRO RELATIVO EM ENSAIO DINÂMICO REALIZADO A 22 °C.....	98
FIGURA 64	ERRO RELATIVO EM ENSAIO DINÂMICO REALIZADO A 8,5 °C.....	98
FIGURA 65	ERRO RELATIVO EM ENSAIO DINÂMICO REALIZADO A 14,7 °C.....	99
FIGURA 66	ESQUEMA CONSTRUTIVO DA COLUNA PARA CALIBRAÇÃO DE SENSORES DE NÍVEL.....	101
FIGURA 67	COLUNA DE CALIBRAÇÃO DE SENSORES DE NÍVEL.....	102
FIGURA 68	DETALHE DA COLUNA DE CALIBRAÇÃO PARA SENSORES DE NÍVEL.....	102
FIGURA 69	DETALHE DO TOPO DA COLUNA DE CALIBRAÇÃO PARA SENSORES DE NÍVEL.....	103
FIGURA 70	PERFORMANCE DO SENSOR WL 300 EM PROFUNDIDADES MAIORES.....	104
FIGURA 71	ESQUEMA DOS ENSAIOS DO MEDIDOR DE PRECIPITAÇÃO .....	110
FIGURA 72	ENSAIOS DO MEDIDOR DE PRECIPITAÇÃO .....	111
FIGURA 73	DETALHE DOS ENSAIOS DO MEDIDOR DE PRECIPITAÇÃO .....	112
FIGURA 74	DETALHE DOS ENSAIOS DO MEDIDOR DE PRECIPITAÇÃO .....	113
FIGURA 75	PERFORMANCE DO SENSOR RG 200.....	115
FIGURA 76	PERFORMANCE DO SENSOR RG200 APÓS O PROCEDIMENTO DE LIMPEZA.....	117
FIGURA 77	PERFORMANCE DO SENSOR RG600, SEM USO.....	119

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	SITUAÇÃO INICIAL DAS ESTAÇÕES EM OPERAÇÃO.....	32
TABELA 2	EQUAÇÕES DE TRANSFERÊNCIA PARA O SENSOR DE NÍVEL DA ESTAÇÃO PARQUE TINGÜI.....	54
TABELA 3	RESULTADO DA APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO OBTIDA EM CAMPO.....	55
TABELA 4	COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES DE TRANSFERÊNCIA PARA O SENSOR DE CONDUTIVIDADE DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ.....	63
TABELA 5	DESEMPENHO DO SENSOR DE CONDUTIVIDADE DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ, COMPARANDO DIFERENTES EQUAÇÕES DE TRANSFERÊNCIA.....	64
TABELA 6	RESULTADO DOS TESTES INICIAIS.....	73
TABELA 7	SITUAÇÃO DOS SENSORES REMOVIDOS DA ESTAÇÃO PARQUE BARIGÜI.....	75
TABELA 8	RESULTADOS DE DUAS TENTATIVAS DE CALIBRAÇÃO PARA O SENSOR WL 300.....	87
TABELA 9	RESULTADOS DOS TESTES DINÂMICOS.....	97
TABELA 10	INFLUÊNCIA TÉRMICA SOBRE O SENSOR WL 301 (SEM USO) .....	105
TABELA 11	RESPOSTA DO SENSOR DE PRECIPITAÇÃO RG200.....	114
TABELA 12	RESPOSTA DO SENSOR RG200 APÓS A REALIZAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE LIMPEZA.....	116
TABELA 13	RESPOSTA DO SENSOR RG600, SEM USO.....	118

## RESUMO

Esta pesquisa apresenta resultados dos estudos realizados nas estações de monitoramento hidroambiental instaladas pelo Centro de Hidráulica do Paraná – CEHPAR na Bacia do Rio Barigui, em Curitiba, Paraná. Duas vertentes principais caracterizam este trabalho. Foram feitas visitas de acompanhamento às estações em condição operacional, durante as quais experimentos e procedimentos foram testados, tendo sido desenvolvida uma metodologia para a verificação da performance real dos sensores instalados, sem remoção. Ao mesmo tempo, foram realizados experimentos em laboratório com equipamentos provenientes de uma estação que foi desativada. Foram observados erros sistêmicos em medidores de precipitação e desvios nas medidas de nível causados por efeitos da temperatura ambiente. Sensores de qualidade da água não sobreviveram ao uso devido a deterioração rápida de seus componentes. O resultado dos testes indica haver motivos de preocupação quanto à aplicabilidade do monitoramento eletrônico automático sem rotinas de verificação e controle operacional dos equipamentos. Portanto, investimentos vultosos podem não atingir os objetivos desejados se a viabilidade técnica da utilização da tecnologia do monitoramento eletrônico, em condições brasileiras, não for estudada mais aprofundadamente.

## **ABSTRACT**

The goal of this research is to assess the actual performance of the automatic hydrological and water quality monitoring stations installed in the Barigui River Basin, in Curitiba, Paraná, Brazil. Temperature interference in water level sensors was observed. Errors in the measurements of precipitation gauges lead to significant underestimation of the amount of rain. Water quality sensors did not endure the experiment due to rapid deterioration of their active components. The results indicate that there might have reasons for concern regarding the use of this technology under Brazilian conditions, in special for water quality measurements. Studies should be carried out in order to assess the real applicability of automatic electronic monitoring in hydrological and environmental sciences in this country.

## 1 INTRODUÇÃO

O impacto do desenvolvimento da tecnologia de informação sobre a experiência humana é tão amplo que talvez a geração atual já tenha se acostumado com a velocidade das mudanças. Processos de desenvolvimento tecnológico como os da telefonia celular, dos computadores e da internet fazem parte dessa revolução que, ao que tudo indica, está apenas em seus primeiros passos.

Entretanto, na esteira da tecnologia que foi desenvolvida para atingir objetivos de massa, mais lenta e menos perceptível, está ocorrendo uma outra revolução. Dispositivos automáticos foram e estão sendo desenvolvidos para substituir a mão de obra humana em trabalhos repetitivos. Tal desenvolvimento é mais evidente em setores onde a lucratividade é mais alta, e é por isso que, quando se pensa em automatização de tarefas, a imagem que vêm à mente da grande maioria é a de robôs em linhas de montagem, ou tornos comandados por computador. Poucos se lembram de outras tarefas que foram e estão sendo automatizadas, como a do registro dos parâmetros que permitem automatizar e controlar uma linha de produção. Mas os que o fazem, sabem que antes de utilizar um robô ou um torno automático para realizar qualquer tarefa, é necessário desenvolver equipamentos que possam medir, armazenar e transmitir dados sem os quais não se pode controlar o processo automaticamente.

Os equipamentos eletrônicos que estão hoje sendo usados para monitoramento ambiental são primos diretos dos que foram desenvolvidos para uso no controle dos processos produtivos industriais. Essa tecnologia tornou-se viável para uso hidro-ambiental devido ao barateamento dos processadores de pequena capacidade, das memórias eletrônicas, das interfaces capazes de “conversar” com um computador comum, dos próprios computadores e, mais do que tudo, da ampla aplicação industrial que a maioria dos componentes pode ter.

Os dispositivos para armazenagem de dados em campo, conhecidos em nosso meio pela sua denominação em inglês – *dataloggers*, são um exemplo direto de transferência da tecnologia industrial para o uso em estações de monitoramento eletrônico dos parâmetros hidrológicos e ambientais. Esses equipamentos sofreram pouca modificação quando comparados às versões industriais, e talvez por dependerem basicamente de memórias eletrônicas e processadores de pequeno

porte, dispositivos que continuam a ser desenvolvidos e aprimorados em ritmos compatíveis com os da indústria da informática, os *dataloggers* sejam o melhor exemplo dessa bem sucedida transferência tecnológica.

Entretanto, a função dos *dataloggers* se restringe ao registro de dados, os quais precisam ser produzidos por meio de sensores eletrônicos específicos para cada parâmetro que se quer monitorar. O grau de precisão das medidas depende portanto, em última análise, da qualidade da informação gerada pelos sensores individuais.

No caso desses sensores, a transferência da tecnologia desenvolvida para uso no ambiente controlado das indústrias para uma utilização em ambiente aberto, sem supervisão humana, mostra-se mais difícil, fato que dificultou e continua dificultando sua utilização, apesar da popularização crescente. Por esses motivos, um estudo abrangente sobre a aplicação dos *dataloggers* e sensores eletrônicos se faz necessário para suprimir a falta de conhecimento sobre as experiências e resultados da aplicação dessa tecnologia, deficiência essa que, pretendemos, seja reduzida por meio deste trabalho.

## 1.1 EVIDÊNCIAS DE INTERESSE: O PROBLEMA DO MONITORAMENTO ELETRÔNICO DE QUANTIDADE E QUALIDADE DE ÁGUA

Em alguns aspectos, a experiência do monitoramento eletrônico de quantidade e qualidade das águas em corpos aquáticos tem apresentado resultados frustrantes. A utilização desse tipo de tecnologia, mesmo em caráter experimental, por instituições governamentais ligadas às questões dos recursos hídricos e de meio ambiente, produziu resultados pouco proveitosos. Diversas experiências têm mostrado que a confiabilidade dos sistemas é baixa, sendo que a fragilidade é mais flagrante quando se observa o desempenho real dos sensores eletrônicos de qualidade da água. Esses, quando em contato com as águas de nossos rios, parecem deteriorar-se de maneira rápida e incontrolável, tornando necessário um nível de manutenção tão freqüente que, em muitos casos inviabiliza sua utilização (Koide, 2005).

Relatos não oficiais de pessoas envolvidas na operação de sistemas de monitoramento mostram o acentuado grau de dificuldade envolvida no processo.

Entretanto, poucos se arriscam a afirmar abertamente que existem problemas significativos no uso desses equipamentos.

Tal atitude pode ser explicada pela relativa novidade dessa tecnologia, pela falta de experiência acumulada e também pela possível sensação de imperícia que, aos poucos, vai se formando no espírito dos operadores pois, afinal, equipamentos caros e tecnologicamente sofisticados não são normalmente vistos como causa principal de insucessos operacionais. Além desses, fica evidente a falta de literatura crítica sobre o tema, com pouco acesso, em especial, nos ambientes de pesquisa.

Existe, entretanto, uma discrepância acentuada entre a realidade alardeada pelos representantes vendedores de equipamentos para monitoramento ambiental e a prática dos resultados obtidos quando se utiliza essa tecnologia.

Imperativo ao processo de venda, o enaltecimento das qualidades dos equipamentos é sistemático e universal, passando aos possíveis compradores a impressão de que todos os problemas de monitoramento serão solucionados desde que se faça a escolha por esse ou aquele equipamento.

Somente quando se buscam informações mais detalhadas sobre a garantia do funcionamento dos sensores é que se encontram, em alguns casos, pistas indicativas do conhecimento que os fornecedores tem da ineficiência dos equipamentos que vendem. Cláusulas contratuais isentam de responsabilidade os fabricantes em casos de “mau uso” - um conceito amplo que pode englobar qualquer alteração a ser causada pelo meio aquático sobre o sensor em questão.

Foi observada, freqüentemente, uma curiosa inversão na relação entre os fabricantes/distribuidores e os consumidores desse tipo de equipamento. Natural seria que os fabricantes dispusessem de técnicos especializados que pudessem auxiliar o corpo técnico dos clientes a instalar e operar os sistemas, orientando a montagem e responsabilizando-se por um mínimo padrão de funcionamento a ser atingido, sem o qual a compra não se justifica.

Na prática, entretanto, tal atenção por parte dos fabricantes não existe ou deixa muito a desejar, posto que nenhum deles disponibiliza qualquer material sobre a utilização dos equipamentos que não sejam os manuais originais em inglês, os quais contém apenas informações gerais sobre a instalação, voltadas principalmente aos usuários do país de origem. Informações cruciais sobre a experiência brasileira no uso dos próprios equipamentos não é disponibilizada aos clientes, deixando-os à

mercê de tentar, por conta própria, interpretar as instruções dos manuais e adaptar a tecnologia à realidade dos rios brasileiros. Quando os resultados mostram-se insatisfatórios aplica-se a cláusula do mau uso para justificá-los, de forma que aos operadores resta uma sensação de que o fracasso do projeto é, em suma, sua responsabilidade.

Curiosamente, a resposta dos fabricantes/representantes de equipamentos a essa realidade é a apresentação de novos modelos, muitos dos quais baseados em tecnologia já utilizada anteriormente. A nova roupagem dos equipamentos é apresentada como a solução tecnológica para as dificuldades enfrentadas em tentativas anteriores, de forma que até operadores experientes acabam por aceitar a idéia de que gastando mais, adquirindo novos equipamentos e investindo mais tempo no decifrar de novos manuais será possível, finalmente, atingir os objetivos desejados. Essa atitude acaba por perpetuar um processo que vem consumindo muitos recursos, numa ciranda de desperdícios que, embora contribua para o conhecimento “do que não fazer”, pouco contribui para o avanço científico que se desejava atingir.

A repetição de tentativas de utilização de sensores nas condições brasileiras mostra que é necessário um estudo abrangente das razões pelas quais alguns dos equipamentos testados apresentam problemas operacionais. Tal estudo, imperativamente abrangente e urgente por necessidade não pode ser levado a cabo por uma única instituição, mas deve e precisa ser iniciado sem demora, de forma que o processo, uma vez iniciado, acabe por suscitar um debate que já há tempo se faz necessário.

O trabalho que ora é apresentado tem intenção geral de instigar as instituições de pesquisa e desafiá-las a compartilhar abertamente suas experiências, dando início à análise científica do problema e apresentando os primeiros resultados. Vislumbra-se que, no futuro, seja possível construir um banco de informações que sirva de referência brasileira quanto ao uso de estações de monitoramento hidro-ambientais.

Reforça-se, nesse momento, a grande dificuldade de se encontrar literatura de apoio. Nesse contexto, esse trabalho se coloca como uma primeira manifestação acadêmica, ao menos em nossa região, com essa preocupação.



## 1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo desse trabalho consiste em reportar a experiência de monitoramento eletrônico de uma bacia hidrográfica (Bacia do Rio Barigüí – BRB), tentando identificar as causas dos problemas observados nas estações de monitoramento, acessar problemas causadores de erros sistemáticos e quantificá-los quando possível, oferecendo, dessa forma, subsídios para a tomada de decisão por operadores que venham a instalar sistemas de monitoramento hidro-ambiental.

Cabe ressaltar que, antes do início desse estudo, quatro estações de monitoramento ambiental foram instaladas na bacia do rio Barigüí - rio que corta a região oeste de Curitiba no sentido norte-sul. Os equipamentos foram instalados pelo CEHPAR – Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Sousa, e a bacia é utilizada pelo Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Paraná como bacia-escola.

Como objetivos específicos destacam-se:

- a) proposta de metodologia de avaliação da confiabilidade das informações dos sensores, por meio de algoritmo para avaliação em campo;
- b) proposta de metodologia de calibração de sensores de nível e chuva em laboratório;
- c) identificação de possíveis fontes de erro no monitoramento através de sensores eletrônicos.

## 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Essa dissertação está organizada em 6 capítulos principais.

No capítulo 2, serão apresentadas informações detalhadas sobre as estações, seus sensores e suas plataformas de coleta de dados

Em seguida, no capítulo 3, será apresentada a Bacia do Rio Barigüí, com ênfase para a caracterização das estações instaladas e a situação em que se encontravam no início desse trabalho. Será também traçada uma estratégia de abordagem para a pesquisa.

No capítulo 4, serão apresentados os resultados dos estudos realizados em laboratório com os sensores disponíveis.

O capítulo 5 apresenta os resultados das análises efetuadas no campo, ao longo de um período de 18 meses,

As conclusões e recomendações a que se chegou estão apresentadas no capítulo 6.

Em anexo, a título de informação adicional, é apresentado um relato sobre o problema que levou ao desmonte da estação Parque Barigüi.

## 2 MONITORAMENTO ELETRÔNICO – PRINCÍPIOS E CONCEITOS

A computação eletrônica é um dos progressos humanos que, paradoxalmente, deriva do esforço militar. O primeiro computador eletrônico que pode ser assim chamado foi construído como parte de um esforço secreto do governo inglês, para que fosse possível a decodificação das mensagens cifradas do comando alemão.

Colossus (este era o nome do equipamento construído em Bletchley Park, Inglaterra em 1941), é o marco de nascimento de uma era mas, acima de tudo, exemplifica a construção de um dispositivo eletrônico com capacidade computacional, que foi projetado especificamente para a execução de uma única tarefa – no caso, a de encontrar a combinação utilizada na configuração das máquinas Enigma e Lorenz, utilizadas pelos alemães para criptografar mensagens, cuja programação mecânica era alterada diariamente (Carter, 2000)

O potencial de utilização das máquinas que seguiram o Colossus foi limitado grandemente pelo elevado custo do armazenamento dos dados processados, pelo tamanho dos componentes eletrônicos e pelo custo energético de sua operação. Somente depois da popularização, no início da década de 70, da fabricação de circuitos integrados, comumente conhecidos como “chips”, foi possível o desenvolvimento de equipamentos menores e, finalmente, portáteis (Polson, 2004)

Embora a parte mais aparente da revolução tecnológica causada pelo desenvolvimento dos computadores seja a presença dos próprios aparelhos, dispositivos microprocessados destinados a realizar tarefas específicas já podem ser encontrados em nosso dia a dia. Aparelhos de CD e DVD e telefones celulares são alguns dos exemplos, entre os muitos que poderiam ser citados.

No ambiente industrial, a automação chegou tanto para substituir a execução de trabalhos repetitivos através dos robôs quanto, numa escala não tão visível mas não menos importante, para controlar e monitorar processos. Essa última tarefa é baseada em pequenos computadores capazes de armazenar as informações geradas por sensores específicos e as transmitir para outros computadores, o que pode ser feito em tempo real. Estes equipamentos são conhecidos por seu nome em inglês: “*dataloggers*” (Fuller, 1998)

O uso da nova tecnologia não ficou restrito ao ambiente industrial. “*Dataloggers*” especiais foram desenvolvidos para aplicações remotas em locais sem disponibilidade de energia. Para isso, esses equipamentos foram tornados econômicos em termos de consumo, em grau suficiente para que pudessem ser alimentados por painéis solares e baterias recarregáveis. Tal desenvolvimento permitiu a utilização dessa tecnologia, a partir dos anos 80, em estações meteorológicas e de monitoramento hidro-ambiental (Automatic Weather Stations).

A aplicação dos “*dataloggers*” em estações de monitoramento hidro-ambiental representa um avanço significativo em relação aos processos mecânicos ou eletromecânicos de registro automático. A informação passou a ser registrada de maneira digital, facilitando o manuseio posterior dos dados gerados eliminando a digitação de resultados produzidos de maneira analógica.

Outra vantagem é a crescente capacidade de memória instalada nesse tipo de equipamento, o que permite, ao menos teoricamente, intervalos de tempo cada vez mais dilatados entre as visitas de acompanhamento.

A existência, em alguns modelos, de múltiplos canais de registro permite que se possa monitorar vários parâmetros ao mesmo tempo, o que acabou por facilitar a instalação de estações multiparamétricas, onde se pode monitorar parâmetros atmosféricos, de qualidade da água e de nível dos rios, concentrando a informação em um único dispositivo.

Sistemas de transmissão de dados, via rádio, telefone ou satélite podem ser adicionados à configuração original das estações, eliminando a necessidade de visitas periódicas às estações para a coleta dos dados produzidos e permitindo um monitoramento em tempo praticamente real.

Dispositivos de rádio alerta podem ser programados para entrar em operação no caso de eventos extremos, chamando imediatamente a atenção dos operadores e autoridades para a possibilidade de ocorrência de inundações.

No Brasil, o processo de monitoramento eletrônico através de estações baseadas em *dataloggers* já é utilizado por diversos órgãos ambientais e entidades de pesquisa há algum tempo. Sistemas como os instalados no rio Barigüí podem ser encontrados em vários rios brasileiros, o que pode ser observado diretamente no *site* da Agência Nacional de Águas (ANA), onde está disponibilizada uma relação de estações de monitoramento que inclui dispositivos manuais, automáticos e

telemétricos que procuram monitorar desde apenas informações pluviométricas até amplos conjuntos de parâmetros de qualidade da água.

Entretanto, embora sejam o cérebro das estações de monitoramento, os *dataloggers* somente armazenam dados. Esses dados precisam ser medidos por sensores específicos para cada parâmetro que se quer monitorar.

Ocorre que o monitoramento eletrônico de parâmetros físicos é bastante dependente da confiabilidade dos sensores, das condições de trabalho a que são expostos, e da manutenção regular efetuada. Mesmo em ambientes industriais, os sensores precisam ser constantemente calibrados e aferidos para monitorar com precisão um determinado parâmetro. Isto ocorre porque equipamentos eletrônicos são termicamente sensíveis e a fadiga dos amplificadores eletrônicos pode alterar seu desempenho ao longo do tempo. Por esses motivos, é importante tentar avaliar, da melhor maneira possível, a resposta dos sensores para o caso das estações de monitoramento hidro-ambiental.

## 2.1 DATALOGGERS

Trata-se do “coração” das estações de monitoramento automático. São dispositivos eletrônicos microprocessados que registram as medidas produzidas pelos sensores eletrônicos a ele acoplados em intervalos de tempo pré-fixados pelo operador.

Projetados para operar independentemente da existência da rede elétrica, são alimentados por baterias recarregáveis, normalmente alimentadas por painéis conversores de energia luminosa em elétrica, doravante chamados de painéis solares.

Por motivos de economia de energia, o tipo mais comum de *datalogger* permanece em modo de espera (“stand-by”) a maior parte do tempo. Ao fim de intervalos de tempo pré-determinados o equipamento “acorda”, alimenta os sensores a ele conectados, recebe deles respostas elétricas, as mensura e converte para valores numéricos, armazenando esses últimos junto com a hora exata em que a medida foi feita num novo registro de memória.

Para cada sensor conectado, corresponderá um canal de registro do *datalogger*. Existem dois tipos principais de canais de registro em *dataloggers*.

Canais analógicos possuem docas de conexão específicas que somente permitem a conexão de um único sensor também analógico. Canais digitais permitem a conexão de vários sensores digitais na mesma doca de conexão.

A diferença entre canais analógicos e digitais reside na maneira como a informação produzida pelos sensores é entregue ao *datalogger* para registro. Os canais analógicos são construídos de forma a medir um nível de tensão (ou corrente) produzido pelos sensores. Dessa forma, o processo de medição da resposta é feito efetivamente dentro do *datalogger*, pois o sinal recebido é um equivalente em tensão (ou corrente) da grandeza que se quer medir. O valor é transformado em números dentro do *datalogger* e armazenado em sua memória (Global Water LS-4 Manual, 1995).

Por outro lado, no caso dos canais digitais, a medição é feita no sensor, sendo a resposta transmitida de maneira numérica ao *datalogger*, que a recebe digitalmente e a armazena em sua memória.

A maioria dos *dataloggers* é dotada também um canal especial, destinado em hidrologia ao monitoramento da precipitação, projetado para contar o número de pulsos registrados pelos pluviômetros do tipo “Tipping Bucket” (báscula), por exemplo.

Os *dataloggers* são também dotados de portas de comunicação, normalmente seriais padrão RS232 – que é uma conexão de 9 pinos, mais conhecida por ser a porta pela qual os “mouses” dos computadores mais antigos eram conectados - pela qual se pode, através de um computador, acessar os dados gravados, programar a estação e verificar as leituras instantâneas. Modems ou outros dispositivos de comunicação também podem ser acoplados a estas portas.

Os equipamentos de menor capacidade possuem apenas dois canais de registro. Os *dataloggers* de maior capacidade possuem mais canais, porém, em ambos os casos, ao menos um canal é específico para registrar a precipitação. Esse canal, ao contrário dos outros, permanece sempre em operação, registrando o número de pulsos gerados por um pluviômetro de caçamba.

Os equipamentos utilizados nessa pesquisa possuem 8 canais analógicos. Neles, a resposta dos sensores ao estímulo do *datalogger* deve estar compreendida entre 4,0 e 20,0 mA. Esse sinal é convertido para tensão pelo *datalogger*, com valores entre 0,5 e 2,5 V, correspondendo ao fundo e ao topo da escala de registro,

respectivamente, sendo armazenado em valores. Como todos os sensores utilizados são padronizados para apresentar resposta nessa faixa de variação, sensores e canais são intercambiáveis.

O processo de programação dos *dataloggers*, entretanto, é diferente mesmo entre modelos da mesma marca. Os equipamentos utilizados nesse trabalho – modelo GL300 fabricados pela Global Water Inc. – registram em linguagem de máquina a resposta produzida pelos sensores em uma escala entre 0,5 V e 2,5 V. Cabe ao software de comunicação, instalado nos computadores utilizados para a leitura e resgate dos dados, realizar a tarefa de traduzir os valores de tensão armazenados para a escala adequada a cada parâmetro. Conceitualmente, o software nada mais é que uma função de transferência, previamente definida quando da calibração do equipamento, que realiza a conversão dos dados registrados em tensão para a escala específica de cada sensor.

Os equipamentos da linha GL300 trabalham em conjunto com softwares em DOS, e não são mais fabricados. Foram substituídos por equipamentos da linha GL400, cujo software opera em ambiente Windows e possui uma interface bem mais “amigável”.

Entretanto, é importante notar uma diferença significativa entre as duas gerações de equipamentos. Na geração mais nova, embora seja muito mais fácil para um operador menos treinado efetuar a calibração dos sensores, foram retiradas várias opções constantes na versão anterior.

Nos equipamentos da linha GL300, é possível inserir equações polinômiais de transferência até do quinto grau. O processo de calibração é feito pelo operador, através de uma análise efetiva da resposta produzida por cada sensor. Normalmente a equação de transferência é a equação de uma reta mas, caso haja alguma distorção no desempenho do sensor, é possível corrigi-la através de uma equação que compense a distorção observada

O processo de calibração dos sensores no equipamento GL400 é completamente automático. Basta o operador expor o sensor a duas situações diferentes, próximas ao topo e ao fundo da escala, entrando com os valores desejados no programa de calibração. O equipamento calcula a função de transferência automaticamente, mas não disponibiliza os resultados ao operador.

## 2.2 SENSORES

A construção de sensores eletrônicos depende, fundamentalmente, de materiais que possam reagir a estímulos físicos externos produzindo alterações detectáveis em suas características elétricas de condução.

Sensores de temperatura, por exemplo, baseiam-se em termopares, que são junções ligas metálicas diferentes, as quais provocam o aparecimento de diferenças de potencial que variam com a temperatura a que são expostas.

Outro exemplo consiste no sensor de oxigênio dissolvido, o qual se baseia na alteração da condutividade de uma solução química sensível à presença de moléculas de  $O_2$ . Nesse caso, uma barreira é necessária à manutenção da integridade da solução. Uma membrana especial, capaz de permitir a difusão de moléculas de  $O_2$  permite o isolamento do líquido.

Um terceiro tipo baseia-se em materiais que alteram diretamente as suas características de condução quando expostos a esforços mecânicos, como no caso das balanças eletrônicas e sensores de pressão.

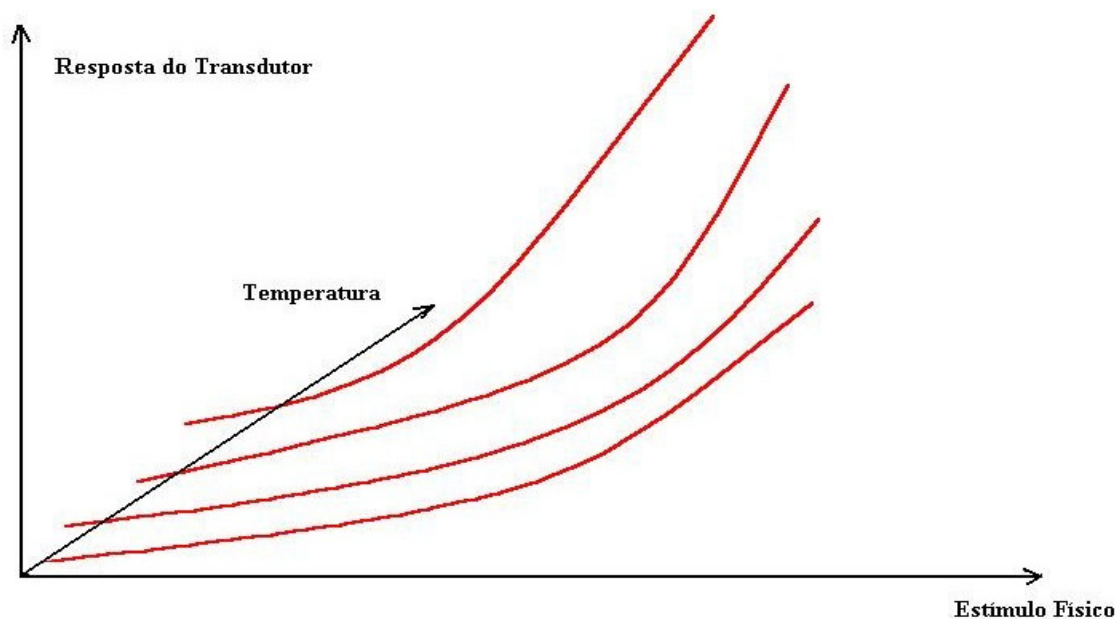
O termo geral aplicado em eletrônica aos materiais utilizados na fabricação de sensores é “transdutor” – termo derivado do inglês “transductor” que significa “qualquer dispositivo capaz de transformar uma forma de energia em outra, de forma a possibilitar o controle de um processo ou realizar uma medição” (Ferreira, 2004).

Os sinais elétricos produzidos por transdutores são diminutos e raramente apresentam uma relação linear para com estímulos físicos que se pretende medir.

Na maioria dos casos a resposta obtida é uma curva e, em muitos casos, os transdutores reagem não apenas a um único tipo de estímulo externo. A maioria reage também à temperatura do meio. Portanto é natural que a resposta de um determinado transdutor ao estímulo que se quer medir seja representada por uma família de curvas, obtidas experimentalmente em temperaturas diferentes, como pode ser observado na Figura 1 (Siemens, 1979).

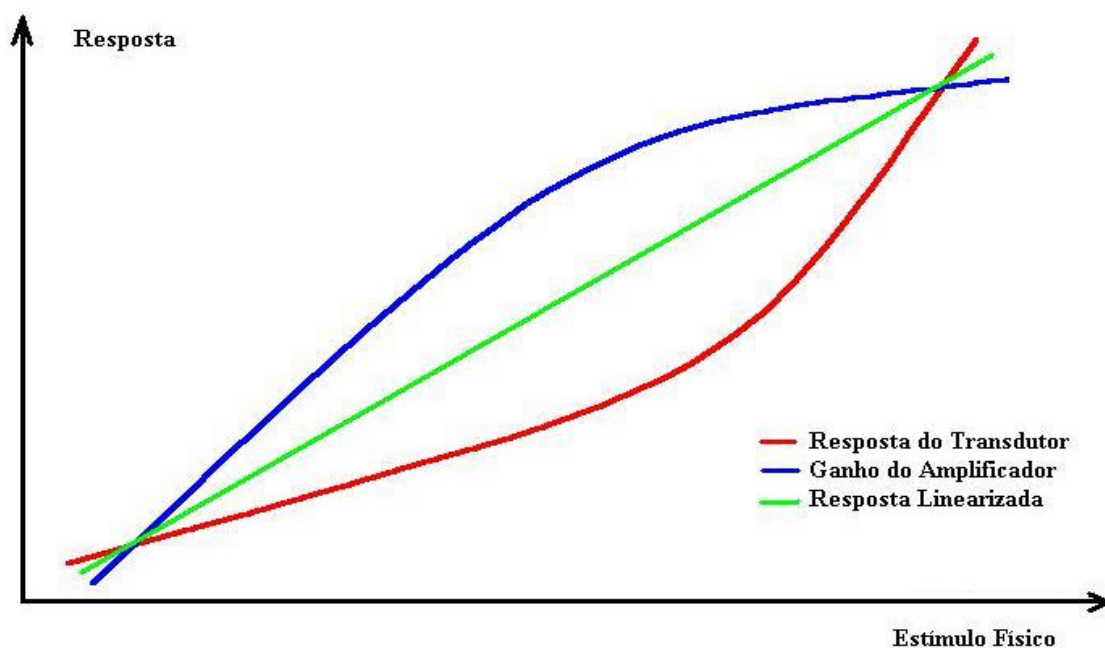


FIGURA 1 – EXEMPLO DEMONSTRATIVO DA RESPOSTA DOS TRANSDUTORES



Para que a saída dos sensores apresente características lineares e somente relacionadas à grandeza física que se quer medir, o ganho dos amplificadores utilizados nos sensores precisa corrigir a resposta dos transdutores, oferecendo uma coleção de funções inversas de amplificação. A Figura 2, demonstra a aplicação de uma função de ganho que torna linear a resposta de um transdutor teórico.

FIGURA 2 – PROCESSO DE LINEARIZAÇÃO DE RESPOSTA DE UM SENSOR TEÓRICO



É importante lembrar que os circuitos amplificadores utilizados nos sensores precisam ter funções de ganho com formato específico para linearizar todas as curvas de resposta produzidas pelo transdutor em questão, o que torna a tarefa bastante complexa. No mínimo, é necessário projetar um circuito amplificador que possa ter funções de ganho variável conforme a temperatura a que o sensor estiver trabalhando.

Tais circuitos precisariam ser específicos para as características dos transdutores para os quais foram concebidos e, idealmente, precisariam ser ajustados para corrigir pequenas diferenças de resposta que ocorrem normalmente mesmo entre peças eletrônicas produzidas no mesmo lote. As necessidades da produção em série, entretanto, não permitem tal grau de precisão, o que encarece substancialmente a produção de sensores de alta performance.

### 2.2.1 Sensores de nível

Vários princípios podem ser utilizados para produzir o sinal necessário ao registro do nível de rios e lagos. Entre os dispositivos de uso mais comum estão os sistemas com bóias e os que fazem a analogia nível-pressão (Freeman et al, 2004)

#### 2.2.1.1 Processo de bóia e contra-peso

Os linígrafos mecânicos podem ser acuradamente descritos como bóias acopladas a dispositivos de registro em papel. A sua versão eletrônica produziu os atuais **sensores de bóia e contra-peso**. O princípio de medição é o mesmo, mas um circuito eletrônico com princípio resistivo, óptico ou magnético faz o registro da posição da bóia e converte o sinal para o padrão de registro dos *dataloggers*.

Esse tipo de equipamento é, normalmente, confiável e preciso. Entretanto, a sua aplicabilidade é limitada pela existência de peças mecânicas em constante movimento. A bóia é presa ao dispositivo de registro por um cabo de aço e seu peso é compensado por um contra-peso que atua de forma a facilitar o movimento vertical. Equipamentos desse tipo podem funcionar adequadamente em lagos e tanques em que não existam correntes capazes de produzir deslocamentos horizontais na bóia, pois nesse caso a medida do nível seria prejudicada pelo afastamento do cabo de aço de seu prumo.

Para evitar os erros que poderiam ser produzidos por esse efeito, é comum que o conjunto bóia-pêndulo seja protegido por um tubo de grande diâmetro ou mesmo que seja construído um poço, conectado ao rio ou lago cujo nível se deseja medir, de forma que se elimine a possibilidade de interferências causadas pelo movimento das águas. Em alguns casos aproveitam-se os pilares das pontes ou as paredes de uma barragem para dar suporte aos dispositivos de proteção. Esses, de maneira geral, encarecem e limitam o uso desse tipo de sensor.

#### 2.2.1.2 Analogia nível-pressão – O efeito piezoelétrico

Determinados cristais semicondutores apresentam a capacidade de alterar suas características condutivas quando sujeitos a tensões mecânicas. A variação na condutividade produzida pelas tensões mecânicas exercidas sobre o transdutor pode ser transformada eletronicamente em sinais de tensão ou corrente. Nesse diminuto efeito, conhecido como piezoelétrico, são baseados os processos de medida de alguns instrumentos de precisão, tais como balanças analíticas, medidores de pressão, sensores de nível e outros equipamentos que utilizem a analogia entre as tensões mecânicas exercidas sobre a superfície do semicondutor e a grandeza que se pretende mensurar. No caso dos sensores de nível o mesmo princípio é aplicado de duas maneiras diferentes.

Os sensores mais comuns são construídos de forma a serem mergulhados diretamente no corpo aquático. Suas superfícies de medição, dessa forma, utilizam diretamente a pressão da coluna d'água para produzir o sinal elétrico que será ampliado para o padrão de registro dos *dataloggers*.

Como operam em contato direto com a água, a temperatura dos componentes eletrônicos desse tipo de sensor acompanha a do meio em que se encontra, podendo variar significativamente ao longo do tempo. Por esse motivo, sensores desse tipo necessitam de circuitos amplificadores capazes de fazer a compensação adequada, de modo a evitar que as medições sejam afetadas pelos processos térmicos.

Os efeitos térmicos, entretanto, representam apenas uma parte das interferências que podem causar erros de medição. Processos físicos e biológicos também podem alterar a resposta dos transdutores piezométricos, tais como a

deposição de sedimentos por sobre a superfície do transdutor ou a formação de biofilme sobre a mesma ou, ainda, a combinação dos dois processos (Radtke, 1998).

Para diminuir os efeitos das influências externas, foi concebido um aparelho em que o transdutor de pressão não tem contato direto com o meio líquido, ficando mais protegido das intempéries. A pressão da coluna d'água é transferida ao transdutor através de um tubo pelo qual se borbulha ar dentro do corpo aquático que se pretende acessar. A pressão exercida pelo ar dentro do tubo sobre o transdutor piezométrico é a mesma que seria registrada caso o transdutor estivesse mergulhado na água. Com isso se reduz a influência de interferentes externos na medida, mas se introduz uma variável nova no processo – o equipamento que vai prover ar e pressão para o borbulhamento (Radtke, 1998).

Alguns modelos de equipamentos produzem o fluxo de ar necessário ao borbulhamento a partir de um tanque de gás comprimido, o qual deve ser substituído periodicamente. Esse esquema acaba por representar dificuldades operacionais relativamente sérias. A movimentação de cilindros de gás é difícil, especialmente em regiões mais distantes dos grandes centros.

Por outro lado, a operação com cilindro de pequeno porte implica em visitas periódicas para a substituição. Esse tipo de sensor, que já foi mais utilizado em passado recente, tem tido seu uso descontinuado devido ao elevado custo operacional.

O outro processo consiste em instalar um pequeno compressor de ar que alimentará um reservatório de pequenas proporções, normalmente instalado no compartimento interno das próprias estações

Um passo significativo para a melhoria da qualidade desses equipamentos está ligado ao desenvolvimento de compressores pequenos e compactos, destinados a aplicações medico-hospitalares. Por gastarem pouca energia e serem bastante confiáveis, estão permitindo que o processo da medição indireta seja retomado através do desenvolvimento de sensores precisos e que apresentam baixo índice de manutenção. Atualmente, um fabricante em especial, tem fornecido quantidades significativas de conjuntos de medição para a United States Geological Survey (USGS), o que marca definitivamente o retorno da medição indireta (Waterlog Manual, 2003).

### 2.2.2 Sensores de precipitação

A versão eletrônica dos sensores de precipitação universalmente utilizada é uma evolução dos pluviógrafos mecânicos e eletromecânicos. O processo de registro foi transferido totalmente para os *dataloggers*, eliminando discos ou rolos de papel, simplificando em muito os aparelhos. Um copo, com superfície interna de forma cônica ou parabolóide, coleta a chuva e a conduz para um dispositivo basculante o qual se movimenta, qual um pequeno monjolo, descarregando o líquido acumulado quando cheio.

Dotado de duas caçambas coletoras, o dispositivo produz um pulso elétrico cada vez que o peso da água em uma das caçambas provoca movimento do basculante (Alexandropoulos e Lacombe, 2005).

Os pulsos podem ser registrados de duas maneiras distintas pelos *dataloggers*. Num primeiro caso, o aparelho conta o número de pulsos ocorrido ao longo de intervalos de tempo fixados pelo operador, registrando o valor acumulado ao final de cada intervalo, o que proporciona a leitura direta da precipitação média. No segundo esquema, o momento exato de cada pulso é registrado pelo *datalogger*, ficando a cargo do usuário efetuar o cálculo para a obtenção da precipitação média. O grau de precisão da medida depende, entretanto, da qualidade da mecânica embarcada no sensor, pois o sistema trabalha com massas diminutas de líquido que exercem forças pequenas sobre o eixo do basculante (Alexandropoulos, 2005)

Existe uma nova tecnologia, já disponível no mercado, baseada na utilização de raios laser, a qual pode registrar a quantidade e intensidade de diversos tipos de precipitação, tamanho de partículas e velocidade do movimento. Entretanto, não há notícia do uso, em solo brasileiro, desse tipo de equipamento, o qual é conhecido pela sigla de seu nome em Inglês – ORG (*Optical Rain Gauge*) (Habib et al, 2001).

### 2.2.3 Sensores de Temperatura

Talvez sejam os mais simples e estáveis tipos de sensores eletrônicos para aplicações hidroambientais. A tecnologia envolvida é conhecida há muito tempo e existem diversos princípios de medição plenamente utilizáveis, sendo mais comum a utilização de juntas termopares ou resistências termovariáveis (Siemens, 1979).

Como as variações de temperatura em corpos aquáticos se dão de maneira lenta, os transdutores propriamente ditos podem ser encapsulados e protegidos. Os sensores assim construídos respondem lentamente às variações de temperatura do meio, mas preservam os transdutores do contato com a água, evitando desgastes e interferências que pudessem alterar as medidas (Radtke, 2004).

#### 2.2.4 Sensores de condutividade

A condutividade do meio aquoso é medida diretamente através da passagem de corrente elétrica entre duas superfícies de contato com características de dimensão e distância conhecidas, que funcionam como eletrodos. A corrente elétrica será proporcional às áreas de contato com o líquido e à condutividade desse último.

A arquitetura dos sensores varia muito de fabricante para fabricante. Alguns fabricantes constroem eletrodos cilíndricos em aço inox, dotados de uma agulha também em inox em seu centro, de forma que a corrente estabelecida tem direção radial, do eletrodo agulha para o cilíndrico. Outros se utilizam de bastões de vidro para construir eletrodos em forma de anéis que são fixados em torno do bastão, com ou sem eletrodo fixados na ponta do bastão.

Em ambos os casos citados, a corrente estabelecida entre os eletrodos quando em contato com o meio aquoso que se pretende medir é amplificada de maneira a produzir uma resposta linear e adequada ao padrão de leitura dos *dataloggers*.

A condutividade de um meio líquido varia, ainda que de maneira branda, com a temperatura. Essa variação é real e precisa ser registrada como tal, criando uma dificuldade a mais para o sistema de compensação térmica dos sensores. Isto decorre da necessidade de se separar a “parte real” da variação da condutividade causada pela influência da temperatura. Como os transdutores e os amplificadores podem apresentar alteração de desempenho causada pela temperatura, essa separação pode ser bastante difícil.

Outras variações, que normalmente chegam a atingir uma magnitude bastante superior, podem ser causadas pela interferência de agentes externos sobre as superfícies dos eletrodos. A formação de biofilme ou o acúmulo de sedimentos sobre a superfície do transdutor levam a erros crassos de medição, pois acabam por

oferecer uma alternativa mais fácil para a passagem de corrente elétrica entre os eletrodos (Radtke et al, 1975).

#### 2.2.5 Sensores de pH

O processo de medida do potencial hidrogeniônico (pH) baseia-se na medição da diferença de potencial existente entre dois eletrodos independentes que podem ou não ser engastados em um único bulbo.

Uma superfície de vidro especial permite a passagem de íons  $H^+$  de forma a atingir o eletrodo sensível. O segundo eletrodo é mantido sem contato com o meio externo, e funciona como eletrodo de referência.

A arquitetura de construção dos sensores varia de fabricante para fabricante, mas a continuidade e a precisão do processo de medida depende basicamente da manutenção da porosidade do vidro especial que permite a passagem de  $H^+$ .

Tal situação pode atrapalhar medidas em campo, pois alguns processos físicos externos podem alterar e/ou bloquear a passagem dos íons. Deposição de sedimentos ou a formação de biofilme por sobre a superfície sensível pode comprometer o funcionamento do sensor. Em virtude da porosidade do vidro, na maioria dos casos em que isto ocorre, o dano ao sensor torna-se permanente, inviabilizando sua recuperação (Radtke et al, 2003).

#### 2.2.6 Sensores de Oxigênio Dissolvido (OD)

O processo de medida do oxigênio dissolvido (OD) baseia-se na medição da diferença de potencial existente entre dois eletrodos feitos de materiais diferentes, que são mantidos mergulhados em uma solução eletrolítica especial.

A ponta do sensor, contendo os dois eletrodos é “fechada” por um pequeno recipiente cilíndrico, em cuja ponta é engastada uma membrana fina, através da qual ocorre a difusão de moléculas de  $O_2$  do meio externo para a solução eletrolítica, o que causa alterações na diferença de potencial existente entre os dois eletrodos.

Esse processo de medição é bastante problemático pelos mesmos motivos que dificultam a operação dos sensores de pH. A formação de biofilme ou a

deposição de sedimentos por sobre o sensor deteriora a permeabilidade da membrana, impedindo a leitura.

Em ambos os casos, a possibilidade de dano permanente ao sensor é elevada, principalmente se o equipamento é deixado desatendido por algum tempo (Radtke et al, 1998).

### 2.3 ANÁLISE CRÍTICA

Já nesse estágio é possível observar que os sensores são o elo fraco do processo eletrônico de medição. Interferências externas podem, em maior ou menor grau, dificultar, atrapalhar ou inviabilizar totalmente a operação normal de alguns tipos de sensores. Esses processos podem ser mais decisivos no caso dos sensores de qualidade de água, pois a deposição de sedimentos e/ou a formação de biofilme por sobre os componentes expostos dos sensores pode interferir severamente nos resultados das medidas. O único sensor totalmente imune às interferências externas é o sensor de temperatura, pois se trata, normalmente, de um sensor totalmente encapsulado, não havendo contato direto dos componentes ativos do sensor com o meio líquido.



### 3. ABORDAGEM METODOLÓGICA – O ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO BARIGÜÍ (BRB)

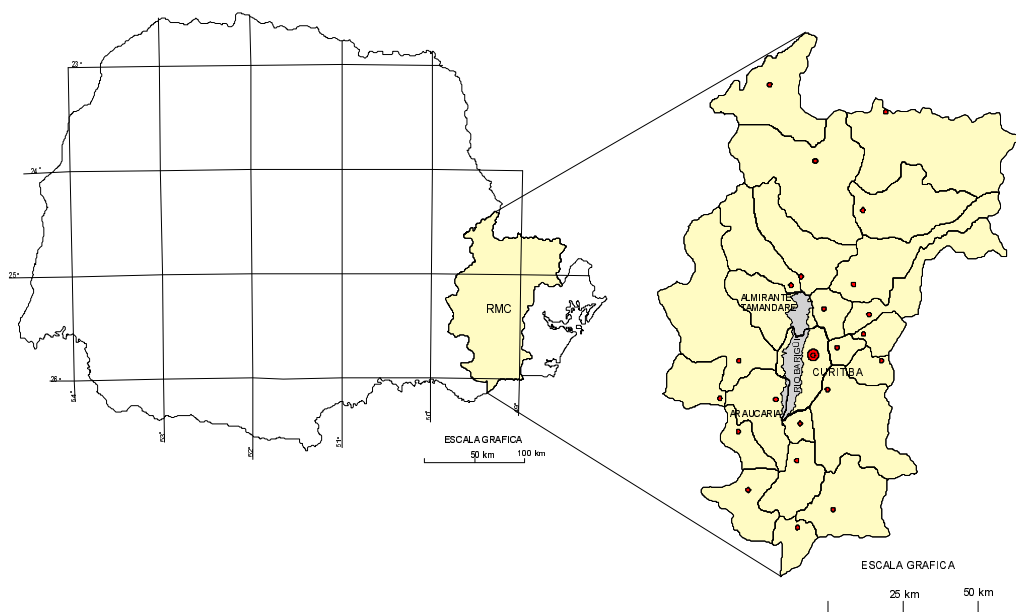
Nessa seção, serão apresentadas a Bacia do Rio Barigüi, suas estações de monitoramento automático, os equipamentos que nelas estão instalados e a situação em que se encontravam no início desse estudo.

Também serão apresentadas as estratégias de abordagem que foram utilizadas nessa pesquisa, além de um texto explicativo do processo de funcionamento das estações, focado principalmente na maneira pela qual se faz a calibração dos sensores instalados.

#### 3.1 A BACIA DO RIO BARIGÜÍ

A bacia do rio Barigüi localiza-se na Região Metropolitana de Curitiba e drena até a sua foz 260 km<sup>2</sup> em uma extensão de 66 km, cortando a porção oeste do município de Curitiba no sentido Norte-Sul. As suas nascentes situam-se no município de Almirante Tamandaré e sua foz no rio Iguaçu na divisa entre os municípios de Araucária e Curitiba, como pode ser observado na Figura 3.

FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO BARIGÜÍ



Alguns fatos tornam essa bacia o objeto ideal para estudos e pesquisas:

- a) sua relativa pequena extensão e a proximidade da capital facilitam o acesso, permitindo visitas freqüentes por parte dos pesquisadores;
- b) Suas nascentes são situadas em terreno calcário, com presença de atividades tanto mineradoras como agrícolas, com forte presença de horti-fruticultura;
- c) o rio Barigüi corta regiões com diferentes tipos ocupação de solo, passando tanto por áreas nobres de Curitiba como também em setores industriais, regiões de baixa renda e áreas de invasão;
- d) Foram implementadas algumas obras para contenção de cheias ao longo da calha principal do rio Barigüi;
- e) existe um cemitério de proporções médias, instalado às margens do rio;
- f) o nível de degradação de suas águas aumenta, progressivamente, ao longo sua passagem por Curitiba;
- g) a principal causa da poluição observada é o lançamento de esgotos domésticos. Outras fontes, como as que são providas de atividades industriais e poluição difusa também são relevantes (Fernandes et al, 2004);
- h) a presença de um lago artificial localizado aproximadamente na metade da trajetória do rio impõe uma dinâmica interessante ao regime de transporte de sedimentos, possibilitando intenso assoreamento. Esse lago situa-se no mais conhecido e valorizado parque da cidade (Parque Barigüi) (Chella et al, 2004);
- i) O lago do parque Barigüi funciona aproximadamente como um separador em termos de qualidade das águas da BRB, a jusante do qual o processo de degradação se acentua.

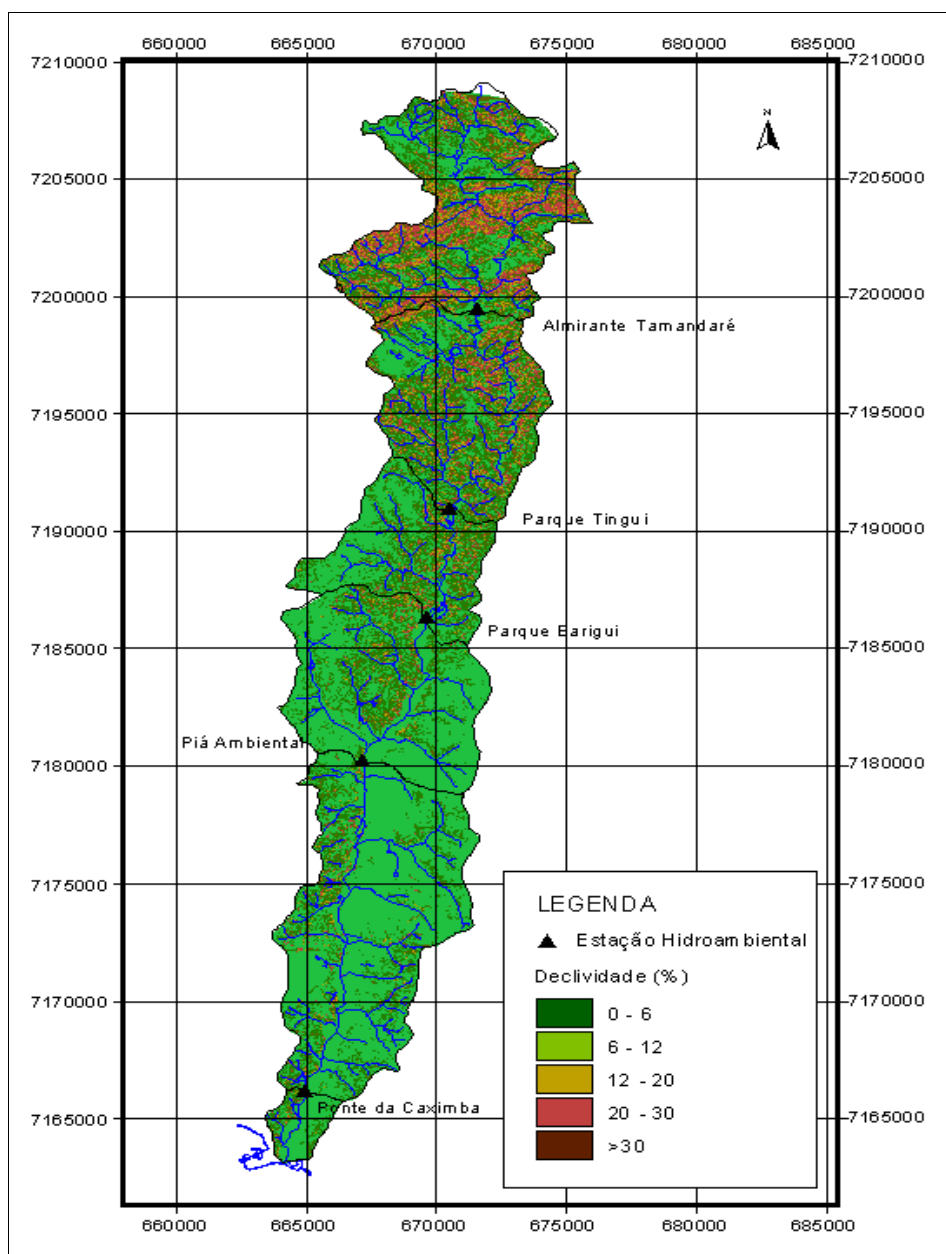
Em virtude do exposto, estudos tem sido realizados na BRB já há algum tempo, visando tanto o aprendizado de técnicas de simulação dos fenômenos hidrológicos quanto a ampliação do conhecimento sobre os processos de degradação ambiental infligidos ao rio.

Por esse motivo, a BRB foi escolha natural quando se iniciaram estudos para a realização de testes em equipamentos destinados ao monitoramento automático de parâmetros hidroambientais.

### 3.2 ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO AUTOMÁTICO DA BRB

Quatro estações automáticas de monitoramento foram montadas na bacia do rio Barigüi, a partir do final de 2001 (CEHPAR, 2002) para produzir dados referentes à quantidade e qualidade da água nesse rio. Estas estações estão localizadas em Almirante Tamandaré (P1), Parque Tinguí (P2), Parque Barigüi (P3) e Piá Ambiental Fazendinha (P4), conforme indicados na Figura 4.

FIGURA 4 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS



Os equipamentos utilizados foram importados da empresa americana Global Water Inc.. Em sua configuração original, cada estação era composta de um *datalogger*, modelo GL300 com 8 canais normais de registro mais 1 canal especial para precipitação, um sensor nível modelo WL300, um sensor de temperatura modelo WQ101, um sensor de condutividade modelo WQ301, um sensor de pH modelo WQ201, um sensor de Oxigênio Dissolvido modelo WQ401, um sensor de precipitação modelo RG 200, um painel solar de 10 Wh e uma bateria de 10 Ah.

Entretanto, devido a problemas observados no sensor WL300 da estação Almirante Tamandaré, o sensor de nível dessa estação foi substituído em março de 2002 pelo modelo PTX1830, fabricado pela Druck Inc.

A primeira estação a entrar em operação foi a que está localizada em Almirante Tamandaré a qual começou a registrar dados em 24/12/2001. As outras foram sendo montadas progressivamente até que em meados de 2002 todas as estações estavam em operação.

As instalações físicas pouco diferem umas das outras. As estações Tamandaré e Piá Ambiental foram montadas em construções de alvenaria pré-existent. Seus *dataloggers* foram fixados em paredes laterais de construções enquanto o painel solar e o pluviômetro foram instalados em postes comuns.

Já as estações Parque Barigüi e Parque Tinguí foram totalmente montadas em postes fixados ao lado do rio, colocados no local exclusivamente para esse fim.

Na estação Tamandaré (Figura 5), localizada mais ao norte da bacia, os equipamentos foram instalados ao lado de uma ponte utilizada por pedestres como acesso a uma residência.

FIGURA 5 – VISTA DA ESTACÃO TAMANDARÉ





O leito do rio, nesse local, é bastante rochoso e corre por entre um canal escavado artificialmente com cerca de 2 metros de altura. Os sensores foram instalados em uma plataforma móvel, que fica mergulhada no rio. Como a profundidade média é baixa, os sensores foram instalados horizontalmente, de forma a permanecerem totalmente mergulhados mesmo quando o nível do rio está baixo (Figura 6).

FIGURA 6 – ESQUEMA DE FIXAÇÃO DOS SENSORES – ESTAÇÃO TAMANDARÉ



A estação Parque Tinguí é a segunda unidade a partir da nascente do rio. Está instalada em uma região em que o leito do rio se torna mais arenoso, mais aberto e mais profundo. Os equipamentos foram instalados em um poste e a fiação dos sensores corre por duto enterrado até uma plataforma fixada a cerca de meio metro da margem (Figura 7).

FIGURA 7 – VISTA DA ESTAÇÃO PARQUE TINGUÍ



A estação Parque Barigüi aproveita a existência de um vertedouro, o qual dá saída às águas retidas no lago do parque (Figura 8). Os equipamentos foram instalados em um poste de concreto, sendo que os sensores estão presos em uma plataforma móvel presa à lateral de uma estrutura de concreto que dá acesso ao vertedouro.

FIGURA 8 – VISTA DA ESTAÇÃO PARQUE BARIGUÍ





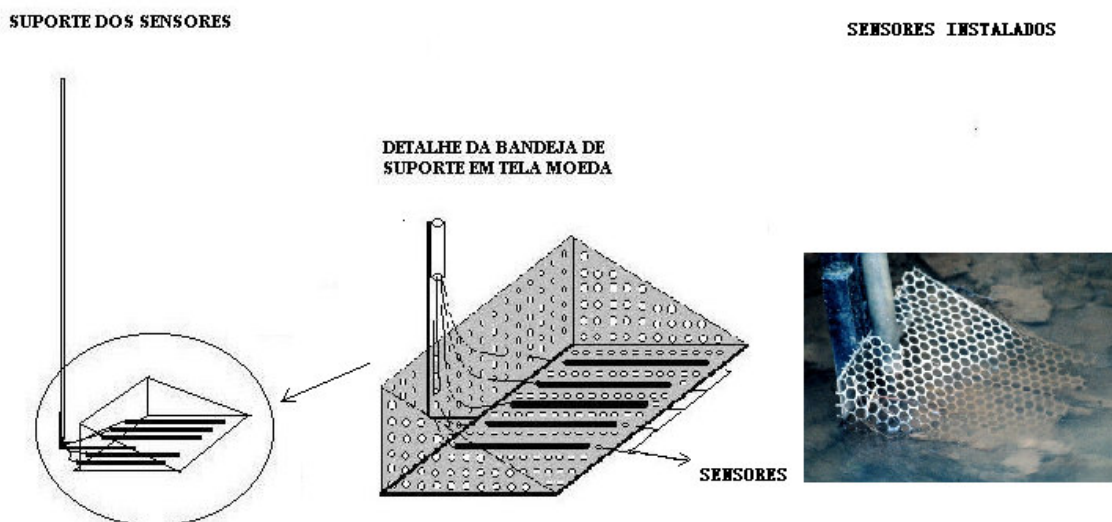
A estação Piá Ambiental (Figura 9), foi instalada na parte mais baixa da BRB, em uma região em que os níveis de poluição já são bastante elevados. Por se tratar de área de baixa renda, para evitar a ação de vândalos a estação foi montada na lateral de uma construção pertencente à prefeitura de Curitiba que abriga a unidade de atendimento a menores carentes de mesmo nome. Os sensores utilizados foram fixados a uma plataforma móvel que se encontra fixada a cerca de meio metro da margem.

FIGURA 9 – VISTA PARCIAL DA ESTAÇÃO PIÁ AMBIENTAL



Todos os sensores foram fixados horizontalmente de acordo com o esquema da estação Tamandaré (Figura 10), ou seja, sobre uma plataforma construída em aço inox, cuja função principal era proteger os equipamentos.

FIGURA 10 – ESQUEMA DE MONTAGEM DOS SENSORES



Claramente a instalação procurava atender tanto a questão da melhor localização possível para a coleta dos dados desejados como a segurança dos equipamentos. O segundo objetivo foi plenamente atingido, pois, efetivamente, ao longo dos três anos em que esses equipamentos estão em operação, não se observou problema relativo a vandalismo, roubo ou dano causado por ação humana. Outros problemas, entretanto, dificultaram o aproveitamento dos dados que se pretendia gerar.

### 3.3 SITUAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO EM JANEIRO DE 2003

Em março de 2003, ao iniciar-se essa pesquisa, a situação geral das estações instaladas no rio Barigüi era quase crítica. Visitas foram programadas para verificar as condições de cada uma das estações, com resultados que serão descritos a seguir.

A estação Piá Ambiental encontrava-se desativada, sem que fossem coletados dados de seu *datalogger*, em virtude de defeito observado. A análise dos dados produzidos indicava saltos inexplicáveis nos patamares de leitura e registro de valores fisicamente impossíveis. Após algumas tentativas de correção, sem que fosse encontrado o defeito causador do problema, as visitas foram descontinuadas até que fosse possível efetuar a remoção dos componentes para teste em laboratório.

A estação Parque Barigüi tinha “apagado”. Nenhuma comunicação tinha sido possível com o seu *datalogger* já há meses.

A estação Parque Tinguí estava operando, mas a régua de referência para o nível de água tinha sido danificada por uma árvore que desceu junto com a correnteza. A mesma árvore tinha ficado presa à estrutura de suporte dos sensores eletrônicos, represando sedimentos de tal forma que foi necessário um grande esforço para que fosse removida do local. A estação Tamandaré encontrava-se em operação normal.

### 3.4 ESTRATÉGIAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS INFORMAÇÕES ELETRÔNICAS

Ao mesmo tempo em que se iniciava a análise da condição de funcionamento das estações, foi retomado o programa de monitoramento da qualidade das águas do rio Barigüi nos locais onde se encontram as estações.

A quantidade de dados levantados torna difícil a apresentação de todo o material analisado. Por esse motivo, foi decidido que todas as informações, tanto as referentes às visitas realizadas quanto as que haviam sido coletadas em períodos anteriores ao que se refere esse estudo serão apresentadas em seu formato original, ou seja, estão anexadas a esse documento, na forma de um CD.

O período em que se concentra esse estudo compreende 16 meses, entre março de 2003 e julho de 2004, no qual foram realizadas visitas às estações com frequência semanal ou quinzenal.

Em todas as visitas foram utilizados equipamentos portáteis para a medição dos parâmetros Condutividade, Temperatura, Oxigênio Dissolvido e pH. Os medidores são todos da marca SCHOTT, e foram utilizados pela primeira vez nessa

pesquisa, tendo sido calibrados com auxílio do representante do fabricante, calibração que posteriormente foi conferida em análise interlaboratorial junto ao CEPPEA.

É importante fazer constar os modelos dos medidores de campo utilizados:

- (i) Medidor de pH marca SCHOTT, modelo 330i
- (ii) Medidor de Condutividade marca SCHOTT, modelo HANDILAB LF1
- (iii) Medidor de Oxigênio Dissolvido marca SCHOTT, modelo OX1/SET

A temperatura é medida e informada pelos três equipamentos mas, como a medição de Oxigênio Dissolvido foi realizada sempre diretamente na corrente do rio, a medida informada por esse equipamento foi considerada mais representativa da temperatura real das águas do rio.

Já nas primeiras visitas ficou bastante claro que havia discrepâncias significativas entre os valores medidos pelos equipamentos portáteis e os que eram produzidos pelos sensores e registrados pelos dataloggers. Isto ocorria em alguns parâmetros, tanto na estação Parque Tinguí quanto na estação Tamandaré, as únicas em operação. Na Tabela 1, pode ser observada a situação inicial dos sensores de ambas as estações.

TABELA 1 – SITUAÇÃO DAS ESTAÇÕES EM OPERAÇÃO EM MARÇO DE 2003

Parâmetro		Nível (m)			OD (mg/l)			pH		
Estação	Data e hora	Medição Direta	Estação	Erro %	Medição Direta	Estação	Erro %	Medição Direta	Estação	Erro %
Tamandaré	17/07/03 2:15	0.64	0.64	0.3	6.59	6.59	0.0	8.00	8.15	1.8
Tinguí	11/07/03 1:57	0.41	0.24	-41.2	4.99	9.10	82.4	7.28	7.98	9.6
Parâmetro		Condutividade (µS)			Temperatura (°C)					
Estação	Data e hora	Medição Direta	Estação	Erro %	Medição Direta	Estação	Erro %			
Tamandaré	17/07/03 2:15	345	270	-21.7	14.6	14.56	-0.3			
Tinguí	11/07/03 1:57	349	165	-52.7	14.9	12.22	-18.0			

Os dados acima demonstram discrepâncias significativas na informação produzida pelas estações. As leituras marcadas em amarelo demonstravam erros significativos em relação ao valor lido diretamente pelos instrumentos de campo.

Após a análise dos dados, foram adotadas duas estratégias de trabalho. Decidiu-se, em primeiro lugar, efetuar o desmonte de uma das estações inoperantes

para que os equipamentos fossem estudados detalhadamente em laboratório e, se possível, tentada a recuperação de suas características operacionais.

A segunda estratégia consistiu, basicamente, em acompanhar o desempenho das estações por meio da comparação dos resultados das análises feitas por meio dos equipamentos de nosso laboratório de campo e os registrados nas estações de monitoramento, com o objetivo principal de acumular conhecimento sobre as estações, verificar o seu funcionamento e o grau de precisão das medidas produzidas de forma a oferecer subsídios às possíveis medidas saneadoras que se fizessem necessárias.

A essência desse trabalho consiste no entrelaçamento destas duas estratégias. O conhecimento obtido em ambas as vias buscou atingir uma ampla compreensão tanto dos processos eletrônicos de medição e registro quanto do impacto causado pelas estratégias de instalação e pela exposição dos equipamentos ao meio que se pretende monitorar sobre estas mesmas medições.

Ambas as estratégias dependem de um conhecimento profundo do processo de funcionamento das estações e, principalmente, do mecanismo que transforma as medidas analógicas produzidas pelos sensores nos valores numéricos que são registrados pelos *dataloggers*, o que será descrito a seguir.

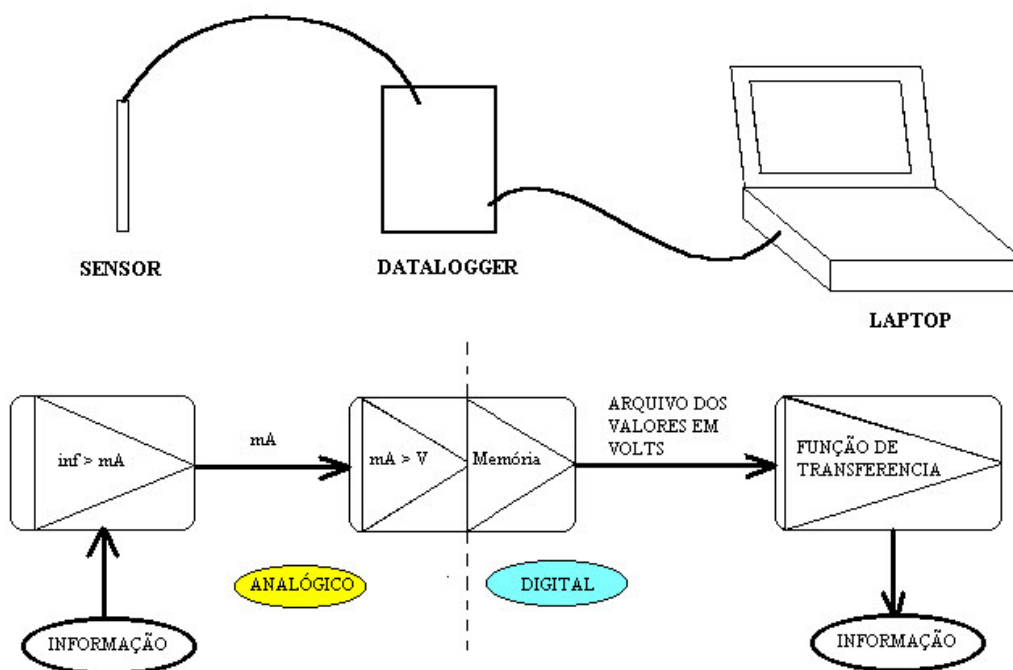
### 3.5 O PROCESSO DE REGISTRO EM CANAL ANALÓGICO DE DATALOGGER

Medidas produzidas por sensores analógicos são registradas nos *dataloggers* seguindo uma lógica padronizada. Os sensores produzem correntes de resposta diferentes quando estimulados de maneiras diferentes. A corrente momentânea de cada sensor induz uma diferença de tensão nos respectivos canais de registro dos *dataloggers*, e são estas tensões que terminam por ser registradas, em linguagem de máquina, na memória das estações.

Uma leitura direta dos registros revelaria valores entre 0,5 e 2,5 Volts para todos os canais analógicos em operação, sendo necessária a aplicação de uma equação de transformação sobre os dados, para cada um dos sensores utilizados, de modo a traduzir as medidas registradas em tensão para os valores das respectivas grandezas que se deseja medir.

A precisão das medidas depende, fundamentalmente, do grau de assertividade com que as funções de transformação (também conhecidas como funções de transferência) são aplicadas aos valores registrados em Volts. Um esquema desse tipo de transformação é apresentado na Figura 11.

FIGURA 11 – PROCESSO DE LEITURA DOS VALORES REGISTRADOS EM DATALOGGERS ANALÓGICOS



*Dataloggers* como o GL300 da Global Water Inc. possuem canais analógicos de registro, isto é, medem a corrente de resposta produzida entre os terminais do canal pelo sensor instalado. A corrente de resposta, produzida pelo sensor em questão, é proporcional à grandeza que se quer medir.

A variação da escala é representada pelos valores 4,0 e 20,0 mA, os quais são transformados em tensão com auxílio de uma resistência interna ao *datalogger*, com valor de 125 ohms.

Utilizando-se a fórmula  $V=RI$  onde  $R$  é a resistência,  $I$  a corrente e  $V$  a tensão, pode-se obter uma variação de 0,5 Volts a 2,5 Volts. O *datalogger* registra a tensão produzida pela corrente fornecida pelo sensor, e os valores têm de, obrigatoriamente, estar compreendidos entre 0,5 e 2,5 Volts. Cada registro é

armazenado em linguagem de máquina, para que possa ser, posteriormente, transferido para a memória de um computador.

No modelo de *datalogger* em questão, o programa de comunicação que, instalado num PC, permite a transferência de informação entre os dois equipamentos e também faz a conversão dos valores armazenados em Volts para a grandeza que se deseja mensurar. Funções de transferência, específicas para cada sensor instalado, são executadas automaticamente pelo programa de comunicação, permitindo que se visualize o valor medido na própria unidade da grandeza que se pretende medir.

Por exemplo, se um sensor para pH operar exatamente nas especificações adequadas, o fundo de escala, equivalente a pH “zero” será, necessariamente representado pela corrente de 4,0 mA, a qual produz uma tensão de 0,5 Volts que será armazenada na memória do *datalogger*.

No outro lado da escala, quando o pH for 14,0 a corrente gerada pelo sensor deve ser de exatos 20 mA, que produz uma tensão de 2,5 Volts, a qual será, dessa forma, armazenada na memória do *datalogger*.

Seguindo essa lógica, supondo que a resposta do sensor seja linear, o valor da corrente esperada para pH 7,0 será igual 12 mA, que produz um sinal de 1,5 Volts no *datalogger*.

A função de transferência será como apresentada pela Equação 1, a seguir:

$$\text{pH} = -3,5 + 7,0 * X \quad (1)$$

em que  $X$  é o valor de tensão registrado pelo *datalogger*. A precisão da conversão das medidas depende da precisão da função de transferência específica de cada sensor. Calibrar um sensor, em suma, significa encontrar a função de transferência que transforma os sinais em Volts registrados para o sensor em questão nos valores da grandeza física que se deseja registrar.

O processo de calibração adotado começa por experimentos feitos com o auxílio da fonte e do multímetro de precisão. A corrente é medida quando o sensor é exposto a estímulos diferentes, seu valor é convertido para tensão e, se uma equação linear se ajustar adequadamente às medidas observadas essa equação passa a ser testada no *datalogger*.



O passo seguinte é repetir o experimento com o uso do próprio *datalogger*, anotando as diferenças entre os valores esperados e os registrados pelo aparelho. Normalmente existem diferenças entre a equação obtida por medidas externas e aquela que seria mais eficiente na conversão dos dados pelo *datalogger*. Isto pode ser explicado pela resistência interna do *datalogger* ser levemente diferente dos 125 Ohms especificados, ou ainda, por alguma imprecisão na medida do multímetro.

Na fase seguinte, o conjunto de dados gerados pelo *datalogger* é utilizado para afinar a calibração da equação de transferência. Para isso, isola-se o termo da tensão na Equação 1 e aplica-se a essa equação modificada para obter o valor da tensão que foi realmente registrada pelo *datalogger* para cada uma das medidas realizadas no experimento. Dessa forma, é possível construir um novo conjunto de dados que relacionam a tensão e a grandeza física que se quer medir, o qual servirá de base para a construção de uma nova função de transferência.

A segunda e terceira fases devem ser repetidas, num processo de refinamento da equação de transferência, até que não existam diferenças significativas entre as leituras produzidas pelo *datalogger* e os valores reais das grandezas a que foram medidas. Quando isso ocorre, a equação de transferência final é anotada e o sensor é considerado calibrado para uso no canal do *datalogger* no qual foi instalado.

Uma descrição detalhada da aplicação desse processo a um sensor específico será apresentada na seção 4.1, que trata da calibração do sensor de temperatura removido da estação Parque Barigüi.

### 3.6 ANÁLISE CRÍTICA

É importante ressaltar que essa é a primeira vez em que o enfoque acadêmico foi aplicado à problemática do monitoramento eletrônico de parâmetros hidroambientais na Região Metropolitana de Curitiba. Por esse motivo, buscou-se efetuar um estudo abrangente, que fosse capaz de identificar os fatores mais importantes dentre as várias possíveis causas dos problemas observados. Por esse motivo também, tanto as campanhas como o conjunto dos experimentos realizados em laboratório foram essenciais para que a precisão dos dados produzidos pelas estações pudessem ser avaliadas e alguns procedimentos de manutenção pudessem ser testados.



## **4 AVALIAÇÃO DOS SENSORES ELETRÔNICOS COM BASE EM PROCEDIMENTOS DE CAMPO**

Nessa seção, será apresentada uma avaliação das instalações e o resultado dos estudos e procedimentos que foram realizados em campo, sem a remoção de componentes, visando determinar a eficiência da resposta dos sensores instalados. Também será apresentado um software que foi desenvolvido especificamente para registrar eventos e medidas, oferecer informações visuais simples a operadores não treinados e, ainda, calcular e oferecer opções para a alteração de parâmetros de calibração.

### **4.1 AVALIAÇÃO DAS INSTALAÇÕES**

Do ponto de vista da segurança, as instalações das estações de monitoramento automático da BRB foram bem planejadas. Nenhum ato de vandalismo ou furto foi registrado. Entretanto, como foi descrito previamente nesse trabalho, vários equipamentos apresentaram problemas operacionais sérios, os quais, em alguns casos, podem estar relacionados direta ou indiretamente às características das instalações. Nessa seção será buscada a identificação das escolhas de montagem que podem ter contribuído para os insucessos operacionais observados.

A montagem das quatro estações pouco difere umas das outras. Sensores de Nível, pH, OD, Temperatura e Condutividade foram montados paralelamente, na horizontal, por sobre uma plataforma metálica, protegidos por uma armação em tela moeda. O esquema pode ser observado nas Figuras 12, 13 e 14, referentes à estação Tamandaré.

FIGURA 12 – ESQUEMA DE MONTAGEM DOS SENSORES (ESTAÇÃO TAMANDARÉ)



FIGURA 13 – DETALHE DO ESQUEMA DE MONTAGEM DOS SENSORES

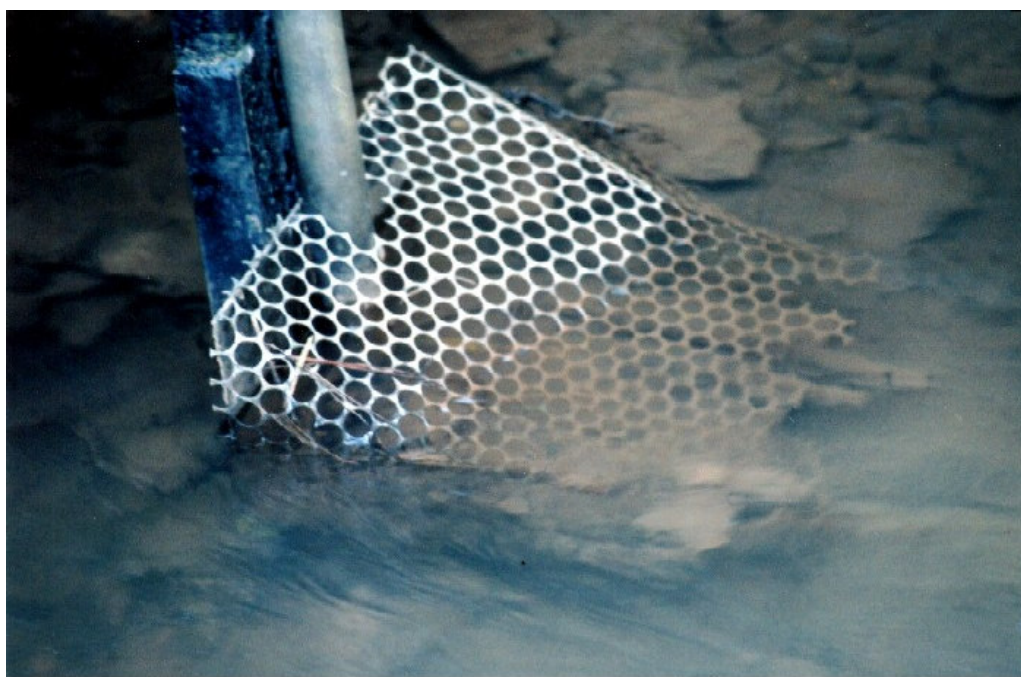
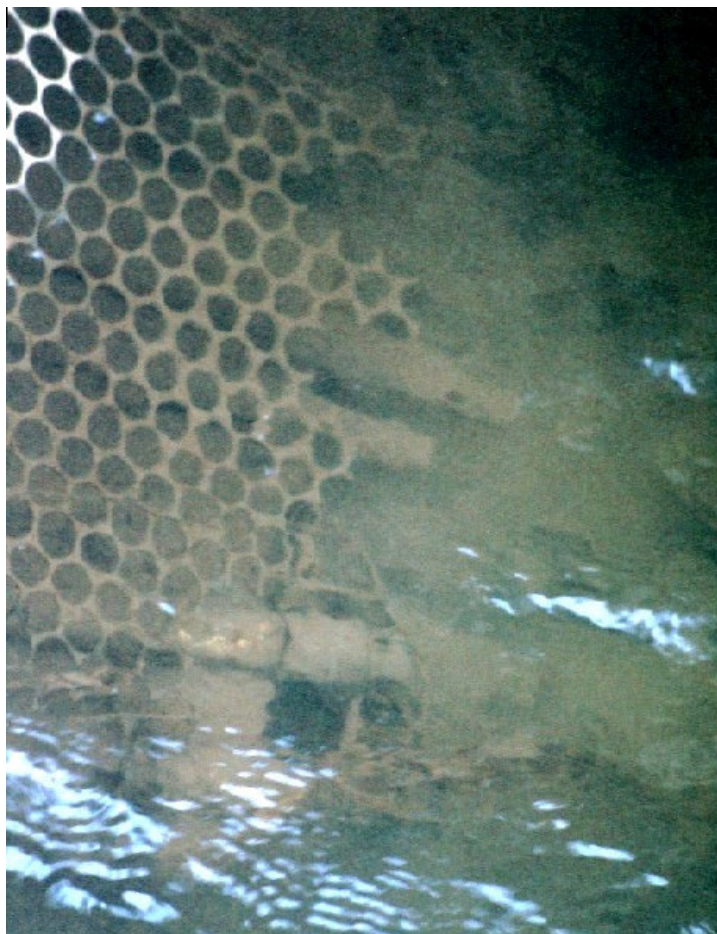


FIGURA 14 – DETALHE DO ESQUEMA DE MONTAGEM DOS SENSORES



As fotografias constantes nas Figuras 12 a 14 foram tiradas aproveitando-se um período de estiagem em que o rio estava baixo e com suas águas mais transparentes. Na Figura 15, o mesmo conjunto de sensores está submerso em mais alguns poucos centímetros de água, o que pode ser evidenciado pela marca esbranquiçada no palanque azul. Entretanto, nada além de uma pequena porção da grade de proteção é visível pois, em virtude da ocorrência de chuvas, as águas estão visivelmente carregando mais sedimentos



FIGURA 15 – SENSORES ESTAÇÃO TAMANDARÉ EM DIA DE MAIOR VAZÃO



Voltando-se às fotos tiradas durante a estiagem, pode ser observada claramente a deposição de sedimentos por sobre os sensores, deposição essa facilitada pela posição em que o sensor está montado.

Ao menos no caso do sensor de nível, existe indicação expressa do fabricante para que o equipamento seja montado em posição vertical (Global Water Sensors Manual). A mesma forma de montagem é sugerida pela USGS (Freeman, 2004).

Embora fosse impossível ou bastante complicada no caso da estação Tamandaré – pois a lâmina d'água pode ser bastante pequena – uma montagem vertical teria evitado, pelo menos em parte, que a deposição de sedimentos por sobre as partes sensíveis do sensor causasse danos como os que foram descritos para o sensor de nível retirado da estação Parque Barigüi.

O esquema de montagem foi reproduzido para as outras estações, mesmo em locais onde a profundidade do rio permitiria, mais facilmente, que os sensores fossem montados em posição vertical.

A presença de sedimentos depositados é especialmente prejudicial aos sensores de pH, Condutividade e OD. Nos dois primeiros casos, o processo de medida depende da medição direta da corrente passante entre dois eletrodos que ficam em contato direto com a água. A deposição de sedimentos sobre esses eletrodos pode afetar as medidas, pois isto pode alterar a passagem da corrente elétrica – que deveria ser proporcional apenas à grandeza que se quer medir.

No caso do sensor de OD, a medição é feita sem contato direto dos sensores com o meio líquido. Esses ficam mergulhados em uma solução eletrolítica especial cuja condutividade é alterada pela presença de moléculas de  $O_2$ . Estas chegam à solução através de uma membrana especial que permite apenas a passagem do gás.

Embora não tenham sido feitos ensaios com esse tipo de sensor, pois a única peça disponível, removida da estação Parque Barigüi, encontrava-se permanentemente danificada, pode-se supor que a deposição de sedimentos e a formação de biofilme por sobre a membrana altera sua permeabilidade ao gás, podendo levar sensor à falha completa o que, provavelmente, foi o que ocorreu com a peça analisada.

Outros fatores associados à montagem podem causar problemas sérios. O assoreamento das margens pode causar o soterramento dos sensores, o que ocorreu na estação Piá Ambiental. A estação estava fora de operação em virtude de problemas ocorridos com o *datalogger* e, em virtude desse fato, a manutenção das margens foi descuidada por período longo o suficiente para que os sensores fossem totalmente enterrados, o que pode ser observado claramente na Figura 16.

FIGURA 16 – RÉGUA E SUPORTE DOS SENSORES DA ESTAÇÃO PIÁ AMBIENTAL



Em rios urbanos, a presença de lixo é, infelizmente, um fato a ser considerado. Resíduos podem se acumular facilmente por sobre o suporte das réguas e dos sensores, prejudicando a observação do nível e facilitando ainda mais o assoreamento e o acúmulo de sedimentos. As Figuras 17 e 18, relativas à estação Parque Tinguí, demonstram claramente o tipo de problema que pode ser causado pelo lixo disposto nos rios.



FIGURA 17 – RÉGUA E SUPORTE DOS SENSORES DA ESTAÇÃO PARQUE TINGUI



FIGURA 18 – DETALHE DA RÉGUA DA ESTAÇÃO PARQUE TINGUI



Outro fator que pode causar grandes problemas é o crescimento de algas sobre os equipamentos. No caso específico da estação Parque Tinguí, tanto a montagem horizontal dos sensores quanto a tela-moeda utilizada para sua proteção acabaram por propiciar bom suporte para o crescimento daquele tipo de organismo. As Figuras 19 e 20 mostram, em detalhes, a ocorrência desse tipo de problema.

FIGURA 19 – FORMAÇÃO DE ALGAS SOBRE OS SENSORES DA ESTAÇÃO PARQUE TINGUÍ





FIGURA 20 – DETALHE DAS ALGAS SOBRE OS SENSORES DA ESTAÇÃO PARQUE TINGUI



Na mesma estação, numa das primeiras visitas realizadas durante esse estudo, foi encontrada uma árvore cuja forquilha principal havia engatado na estrutura de suporte da régua.

Quando se observa as Figuras 12 a 20, torna-se evidente a limitação do esquema adotado para a instalação dos sensores. As estruturas instaladas no rio tornaram-se locais onde se acumulam sedimentos, resíduos e algas.

É provável que a adoção da posição horizontal de montagem também tenha contribuído para o agravamento da situação, pois além de facilitar a deposição de sedimentos por sobre os sensores, acaba por oferecer uma maior superfície de suporte para a fixação das algas.

Por outro lado, se a medição de nível poderia ser feita indiretamente, sem contato direto com o fluxo principal das águas do rio – esquemas com poços e drenos comunicantes com o rio poderiam ser utilizados sem muita dificuldade – pouco pode ser feito no caso dos sensores de qualidade da água, pois esses, por definição, precisariam ter contato com as águas correntes cuja qualidade devem avaliar.

Esquemas alternativos precisam ser testados. Talvez a solução mais viável, no caso dos sensores de qualidade de água, possa ser obtida a partir de um processo de bombeamento da água do corpo aquático que se quer analisar para dentro de uma pequena estação de medição. Os sensores, dessa forma, teriam contato apenas momentâneo com a água que se quer analisar, o que evitaria a deposição de detritos e a formação de biofilme.

Entretanto, tal esquema precisaria ser desenvolvido adequadamente e testado exaustivamente para que sua utilização em condições brasileiras pudesse ser viabilizada.

#### 4.2 SISTEMATIZAÇÃO DAS EXPERIÊNCIAS.

Foram realizadas campanhas de visitas semanais às estações, com o objetivo compilar os dados registrados pelos *dataloggers* e também medir diretamente, os parâmetros de qualidade da água, fazendo-se uso de medidores portáteis. Em cada visita, era anotado o nível da régua, e medidos o pH, a temperatura, a condutividade e a quantidade de oxigênio dissolvido nas águas do rio.

Aos poucos, pôde-se observar que havia sensores que produziam informações mais consistentes, ou próximas dos valores medidos diretamente, mas seria necessária uma análise mais detalhada para que conclusões fossem tiradas sobre seus desempenhos. Sem essa análise, pouco valeria tentar realizar ajustes nas equações de transferência dos sensores, posto que não se teria uma base clara sobre que tipo de ajuste a fazer.

A interface do programa de comunicação do datalogger, embora apresente muitas opções de programação e várias possibilidades de ajuste, apresenta dificuldades, mesmo para operadores treinados.

O programa roda em ambiente DOS, e seus recursos gráficos são bastante limitados, dificultando a visualização rápida dos dados coletados. Essa visualização é importante para dar suporte à tomada de decisões, e por isso decidiu-se pela construção de um software em Visual Basic – Excel, para tornar prática e rápida a transposição das informações baixadas dos *dataloggers*. Um exemplo de arquivo baixado do *datalogger* da estação Tamandaré, em formato TXT pode ser visto na Figura 21.

FIGURA 21 – ARQUIVO DE SAIDA PADRÃO TXT

```

|"DATALOGGER #:", 1
|"DESCRIPTION :", "ALMTAM"
|"File Type :", "462 89 88 1010"
|"SAMPLE RATE :", "00:30:00"
|"PRECISION :", "-DOUBLE-"
|"LAST RECORDING:", "09/11/03", "15:00:00"
|"DATE ", "TIME ", "ANALOG 1", "ANALOG 2", "ANALOG 3", "ANALOG 4", "ANALOG 5", "ACCUM. 9",
|"MM/DD/YY", "HH:MM:SS", "nivel ", "temp ", "cond ", "pH ", "od ", "mm*10 ",
|" ", " ", "m ", "C ", "ohm ", "n ", "porc ", "mm*10 ",
|"08/21/03", "14:35:07", 0.1518, 15.2230, 436.9742, 7.8866, 6.2510, 0.000
|"08/21/03", "15:05:07", 0.1578, 15.3755, 419.7105, 7.9753, 6.2510, 0.000
|"08/21/03", "15:35:07", 0.1548, 15.4595, 412.4479, 7.9711, 6.2510, 0.000
|"08/21/03", "16:05:07", 0.1518, 15.4900, 408.8167, 8.0042, 6.2280, 0.000
|"08/21/03", "16:35:07", 0.1548, 15.4900, 405.1854, 7.9411, 6.2510, 0.000
|"08/21/03", "17:05:07", 0.1578, 15.4900, 397.9224, 7.9155, 6.2510, 0.000
|"08/21/03", "17:35:07", 0.1548, 15.3980, 394.2911, 7.8909, 6.2280, 0.000
|"08/21/03", "18:05:07", 0.1548, 15.2760, 387.9216, 7.8770, 6.2510, 0.000
|"08/21/03", "18:35:07", 0.1487, 15.2230, 394.2911, 7.8428, 6.2890, 0.000
  
```

As primeiras linhas informam as características da estação, entre elas o nome, o intervalo entre as medições e o instante da última gravação. Em seguida, são apresentadas colunas com informações de data, hora e o resultado dos canais de registro. Todas as estações utilizam canais programados na mesma seqüência. Os canais analógicos de 1 a 5 registram o Nível, a Temperatura, a Condutividade, o pH e o percentual de Oxigênio Dissolvido. O canal 9 registra os pulsos produzidos pelo sensor de precipitação.

No intervalo de uma semana, mais de 300 linhas são preenchidas. O *datalogger* possui capacidade para registrar cerca de 10 semanas, o que representaria mais de 3000 linhas contendo dados, o que torna imperativo a produção de gráficos para a visualização dos fenômenos registrados.

No caso do arquivo transferido do *datalogger* da estação Tamandaré no dia 11 de Setembro de 2003, existem 1010 linhas de registro, iniciando às 14:35:07 horas do dia 21 de agosto de 2003 (conforme pode ser visto na Figura 21), e terminando às 15:00 h do dia 11 de setembro de 2003.

A execução do programa contido no arquivo LOGGER, em Excel, importa os dados primários para uma planilha nova, nomeada de acordo com o arquivo original, separa informações e as combina de forma a poderem ser lidas e interpretadas como grandezas numéricas pela planilha, por fim, produz três gráficos contendo todas as informações coletadas, conforme apresentado nas Figuras 22, 23.e 24

FIGURA 22 – GRÁFICO CONTENDO INFORMAÇÕES DE PRECIPITAÇÃO E NÍVEL

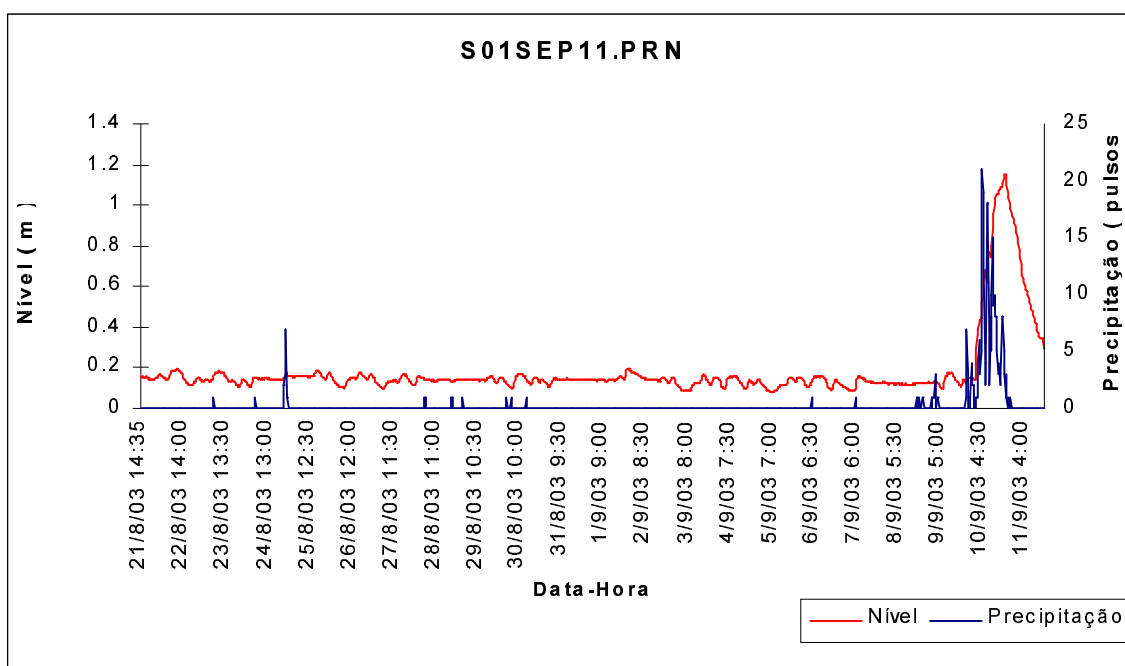


FIGURA 23 – GRÁFICO CONTENDO INFORMAÇÕES DE TEMPERATURA E CONDUTIVIDADE

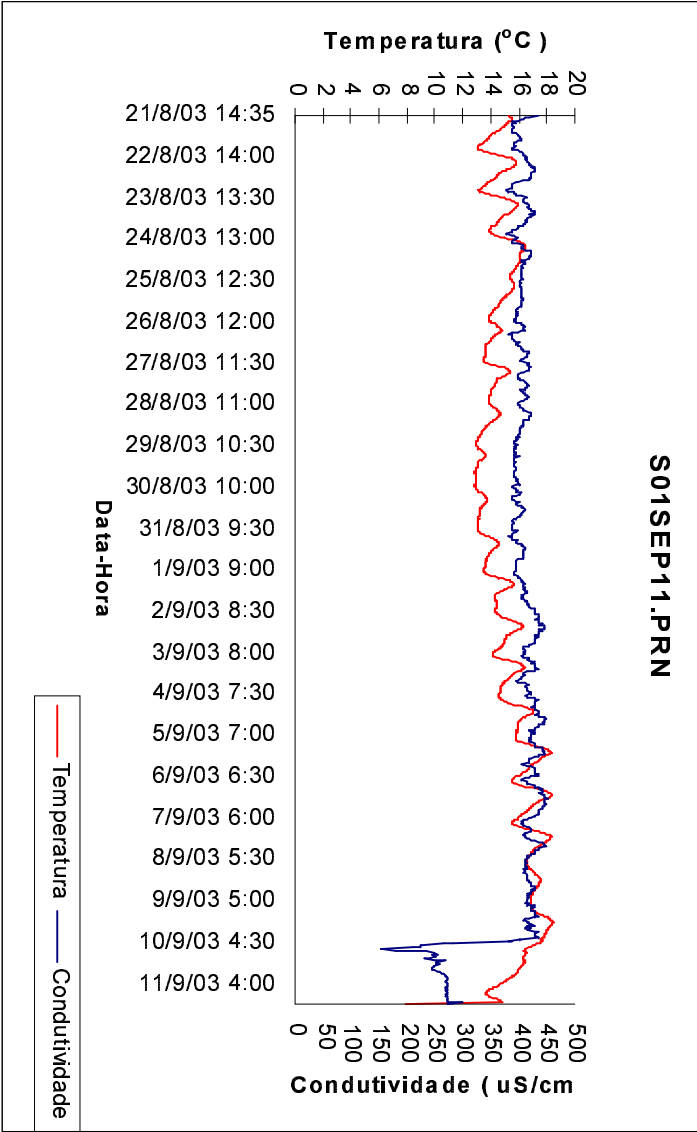
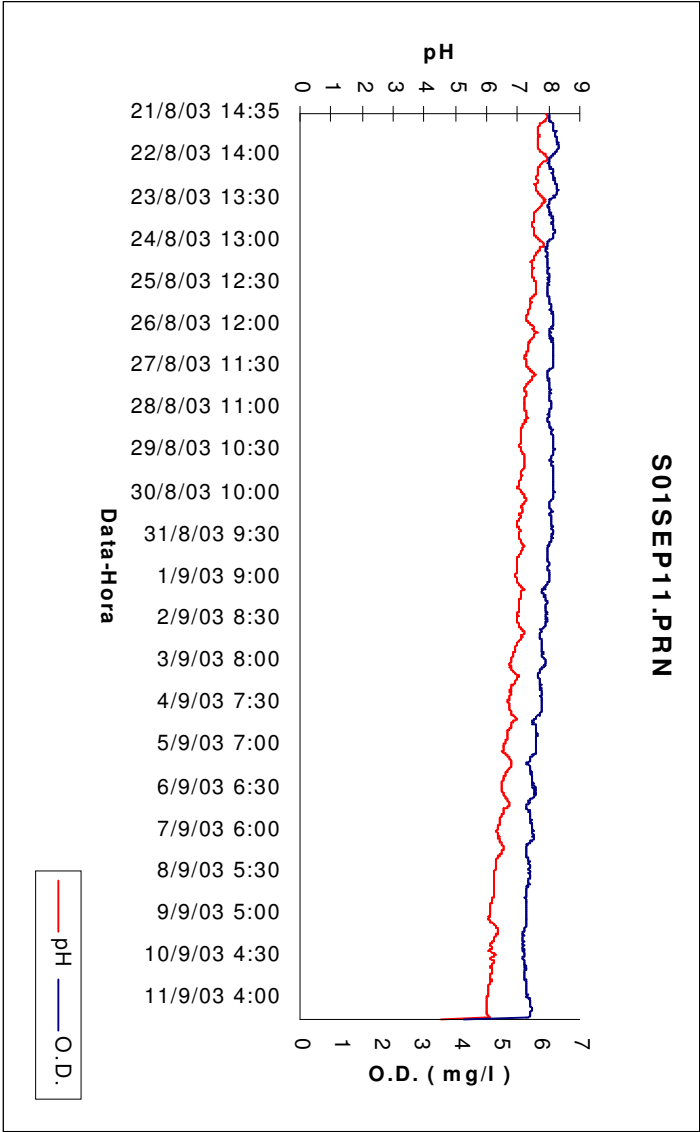


FIGURA 24 – GRÁFICO CONTENDO INFORMAÇÕES DE pH E OD



O gráfico apresentado na Figura 22 informa ao operador o histórico das leituras de nível e precipitação, de modo a que se possa correlacionar visualmente as informações.

Da mesma forma, os gráficos exibidos nas Figuras 23 e 24 oferecem leitura fácil das informações de temperatura x condutividade e pH x OD, facilitando ao operador a visualização do histórico das leituras dos parâmetros.

A apresentação gráfica acima é produzida em poucos segundos, no computador utilizado para baixar os dados do datalogger, de forma a facilitar a observação de possíveis anomalias no desempenho dos sensores.

Entretanto, a observação dos dados acumulados entre as visitas periódicas somente serviria para encontrar padrões irregulares crassos. Comportamentos inadequados mais discretos somente podem ser detectados por comparação direta entre os valores registrados pelas estações e os obtidos através de equipamentos manuais.

Para avaliar corretamente a situação de cada sensor, foram registradas as medidas instantâneas produzidas pelas estações em cada visita, e os valores registrados foram comparados com os valores obtidos diretamente através dos instrumentos manuais. Conforme já mostrado na Tabela 1, foram observadas diferenças significativas entre os valores registrados e os obtidos manualmente para a maioria dos parâmetros avaliados.

#### 4.3 SENSORES DE NÍVEL

Cabe destacar ser difícil avaliar se existia alguma correlação entre os valores registrados pelas estações e os lidos manualmente. Para que aquela fosse avaliada, foram necessários alguns meses de experimentação, e a comparação direta de vários pares de valores, de forma que fosse possível verificar existência de resposta do sensor ao estímulo físico para o qual foi projetado.

Para facilitar a avaliação correta de cada sensor, foi desenvolvido um software em Excel-VisualBasic, o qual, além de permitir ao operador registrar o histórico dos dados coletados para cada sensor, permite também calcular, alterar e fazer registro automático de todas as tentativas de ajuste que foram levadas a cabo nas equações de transferência dos sensores.

Como já visto na seção 3.5, a resposta dos sensores situa-se entre 4 e 20 mA para o fundo e o topo de suas escalas, respectivamente. No mesmo capítulo também foi descrito o processo de transformação das medidas produzidas em mA para a grandeza física que se pretende medir. As equações de transferência que fazem essa tradução são, normalmente, equações lineares do 1º grau com o formato:

$$y = Co + C1x \quad (2)$$

onde “y” representa a grandeza que se quer medir, Co é o coeficiente linear, C1 é o coeficiente angular e “x” é o a tensão de resposta produzida pelo sensor.

Embora não se possa determinar no campo o valor do coeficiente angular, pois a obtenção precisa desse termo somente pode ser realizada através do procedimento de calibração, descrito no Capítulo 3, é possível alterar o coeficiente linear da equação, fazendo com o que os valores lidos na estação se aproximem dos observados na leitura direta.

O registro das alterações efetuadas permitiu que uma análise criteriosa pudesse ser produzida, o que levou a algumas descobertas que serão descritas nas próximas seções.

Para exemplificar a aplicação da ferramenta serão apresentados, a seguir, os registros coletados para os sensores modelos WL300 - instalado na estação Parque Tinguí, e PTX1830 - instalado na estação Tamandaré. Ambos os sensores são do tipo submersível, e seus dutos de ventilação encontravam-se secos e em boas condições.

A tela de registro do programa para a estação Parque Tinguí pode ser observada na Figura 25.

FIGURA 25 – TELA DE ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO DO SENSOR DE NÍVEL DA ESTAÇÃO PARQUE TINGUI

NÍVEL PARQUE TINGUI						
Registrar Nova Medida			Aplicar Coeficiente			
Coeficientes	C 0	C 1	Recalcular			
	-1.15000	2.50000				
Data e Hora	Medição direta	Medida do Datalogger	Equipamento Medida Direta	Coeficiente Adotado/Manitado	Coeficiente Sugerido	
11/7/03 2:02	0.410	0.470	regua	-1.08100	-1.14100	
18/7/03 2:10	0.510	0.463	regua	-1.08100	-1.03400	
18/7/03 2:56	0.500	0.503	regua	-1.03400	-1.03700	
24/7/03 3:57	0.310	0.416	regua	-1.03400	-1.14000	
24/7/03 4:04	0.310	0.414	regua	-1.03400	-1.13800	
26/7/03 5:58	0.310	0.419	regua	-1.03400	-1.14300	
31/7/03 15:44	0.275	0.391	regua	-1.03400	-1.15000	
31/7/03 16:44	0.280	0.278	regua	-1.15000	-1.14800	
14/8/03 14:39	0.265	0.263	regua	-1.15000	-1.14800	
21/8/03 16:35	0.230	0.250	regua	-1.15000	-1.17000	
11/9/03 17:08	0.460	0.340	regua	-1.15000	-1.03000	
18/9/03 16:34	0.270	0.250	regua	-1.15000	-1.13000	

Conforme pode ser observado, na linha 12 da planilha, vê-se que no dia 11/07/03 o *datalogger* registrava um nível de 47 cm, enquanto a leitura da régua indicava 41 cm. O programa sugeriu que o coeficiente  $C_0$  (termo independente) da equação de transferência fosse alterado de  $-1,081$  para  $-1,141$ . Decidiu-se não efetuar a correção da equação de transferência naquela data, para que se pudesse ter ao menos mais uma medida efetuada com a mesma equação.

No dia 18/07/03 o *datalogger* registrava 46.3 cm contra 51 cm lidos na régua. Observou-se que o sensor havia reduzido sua medida em relação aos valores lidos anteriormente enquanto que o nível real do rio havia subido 10 cm. Tal variação pode ser considerada indicativa de problemas com o sensor, pois era esperado que houvesse ao menos uma proporcionalidade entre as medidas da régua e as lidas no datalogger. Decidiu-se então aceitar a mudança do coeficiente  $C_0$  sugerida pelo programa, alterando o valor em operação de  $-1,081$  para  $-1.034$ .



Como pode ser observado na linha 14 da planilha apresentada na Figura 25, a modificação do coeficiente corrigiu a medida de nível do datalogger, eliminando a diferença existente entre a leitura da régua e o valor registrado no datalogger. Entretanto, já na leitura seguinte (linha 15), referente à visita realizada no dia 24 de julho de 2003, uma diferença significativa voltou a ser observada – a leitura da régua indicava um nível real de 31 cm, enquanto que o *datalogger* registrava mais de 41 cm. O programa, por sua vez, sugeria nova alteração do coeficiente  $Co$ , mas decidiu-se aguardar uma nova visita para confirmar a alteração.

Na visita realizada no dia 31 de julho de 2003, enquanto a régua marcava 27,5 cm o *datalogger* registrava 39,1 cm. O programa sugeria correção do coeficiente  $Co$ , de  $-1,034$  para  $-1,150$ , correção que foi adotada (linhas 18 e 19 da planilha), sendo mantidos os coeficientes para as medidas subseqüentes.

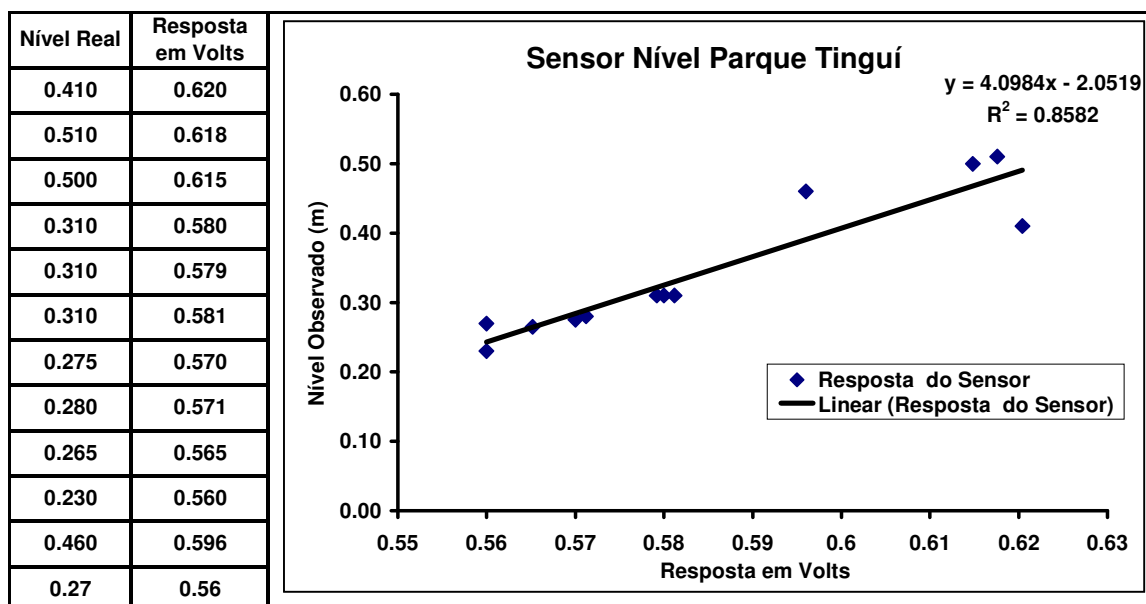
Apesar da modificação, continuaram a ocorrer diferenças nas leituras, como a observada no dia 11 de setembro de 2003, dia em que o nível da régua registrava 46 cm e o valor obtido através do *datalogger* não passava dos 34 cm. Por este motivo decidiu-se utilizar a coleção de dados obtida através das visitas para a determinação de coeficientes mais adequados ao sensor.

Com base nos dados obtidos nas visitas, as informações lidas pelo *datalogger* foram revertidas para o seu valor em Volts, utilizando-se os coeficientes em vigor para cada medida, através da aplicação reversa da função de transferência, que tem o formato:

$$x = (y - Co) * C1^{-1} \quad (3)$$

A coleção de dados obtidos relaciona a tensão real produzida pelo sensor com os níveis reais lidos na régua em cada visita. Esses dados foram utilizados para uma tentativa de se obter uma equação de transferência mais adequada à resposta produzida pelo sensor. O resultado pode ser observado na Figura 26.

FIGURA 26 – CÁLCULO DE UMA NOVA EQUAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA PARA O SENSOR DE NÍVEL DA ESTAÇÃO PARQUE TINGUI



Pode-se observar claramente uma discrepância significativa entre a equação linearizada obtida por esse método e a equação de transferência original, proposta pelo fabricante, conforme pode ser observado na Tabela 10.

TABELA 2 – EQUAÇÕES DE TRANSFERÊNCIA PARA O SENSOR DE NÍVEL DA ESTAÇÃO PARQUE TINGUI

Equação original	$y = -1,25 + 2,5V$
Equação obtida em campo	$y = -2.0519 + 4.0984V$

A diferença das equações evidencia a deterioração das condições operacionais do sensor. Entretanto, a aplicação da equação obtida no campo sobre os dados originais em volts – obtidos a partir da aplicação reversa das equações de transferência originais sobre os registros de nível – sugere que talvez seja possível reduzir os erros observados. O resultado da aplicação dessa técnica sobre os dados desse sensor pode ser observado na Tabela 2.

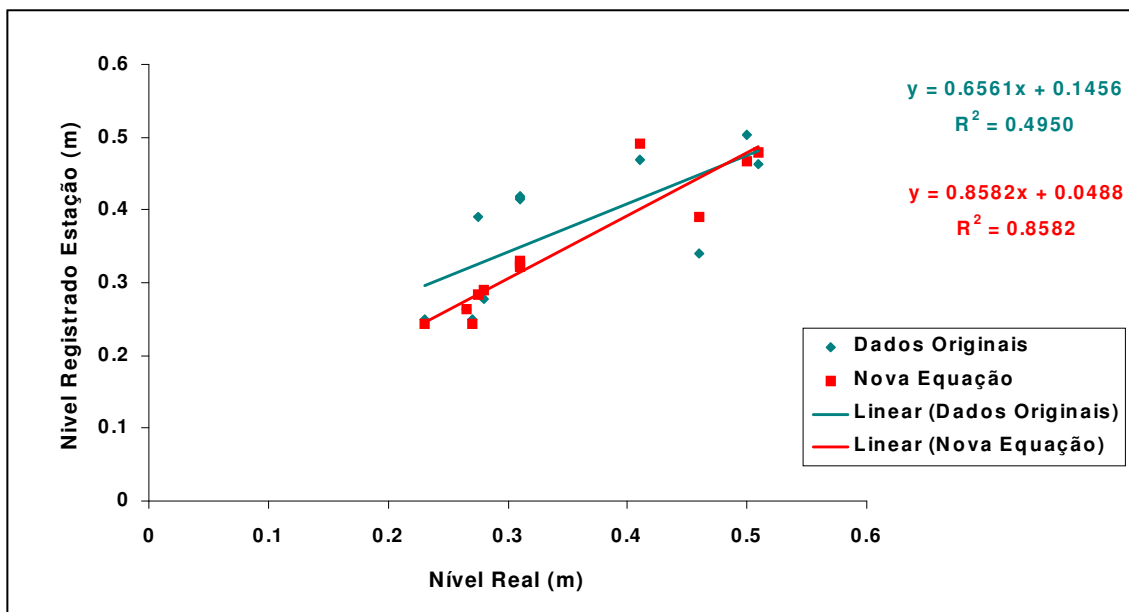
TABELA 3 – RESULTADO DA APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO OBTIDA EM CAMPO

Nível Real (m)	Nível Datalogger (m)	Nível Nova Equação (m)	Diferença Datalogger (m)	Dif. Nova Equação (m)	% Erro Datalogger	% Erro Nova Equação
0.41	0.470	0.491	0.060	0.081	14.63	19.69
0.51	0.463	0.479	-0.047	-0.031	-9.22	-6.03
0.50	0.503	0.468	0.003	-0.032	0.60	-6.44
0.31	0.416	0.325	0.106	0.015	34.19	4.89
0.31	0.414	0.322	0.104	0.012	33.55	3.84
0.31	0.419	0.330	0.109	0.020	35.16	6.48
0.28	0.391	0.284	0.116	0.009	42.18	3.34
0.28	0.278	0.289	-0.002	0.009	-0.71	3.25
0.27	0.263	0.265	-0.002	0.000	-0.75	-0.18
0.23	0.250	0.243	0.020	0.013	8.70	5.74
0.46	0.340	0.391	-0.120	-0.069	-26.09	-15.06
0.27	0.250	0.243	-0.020	-0.027	-7.41	-9.92
			(m)	(m)	%	%
	Média		0.033	0.002	12.5	1.3
	Desvio Padrão		0.080	0.039	23.2	9.8

Pode-se observar uma sensível redução nos erros observados. Os dados originais apresentam erro médio de 3,3 cm, com desvio padrão de 8,0 cm, numa faixa de medição entre 20 e 50 cm, o que representa um erro médio de 12% com desvio padrão de 23%. Quando os valores foram corrigidos pela nova equação de transferência o erro médio passa a ser de 0,2 cm, com desvio padrão de 3,9 cm, ou seja, um erro médio percentual de 1,3% com desvio padrão de 9,8%.

Na Figura 27, as leituras originais e os corrigidas são apresentadas em relação ao nível real, o que permite visualizar melhor os efeitos da correção efetuada. Torna-se clara a limitação do desempenho do sensor, mas também é evidente a melhora obtida no conjunto de dados por ele gerados.

FIGURA 27 – DESEMPENHO DO SENSOR COM A NOVA EQUAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA



Nesse tipo de gráfico, a reta a partir de um sensor em boas condições teria os coeficientes de inclinação e correlação próximos da unidade, passando pela origem. Os dados originais apresentam inclinação de 0,65 e correlação menor que 0,50. Tal resultado descartaria a utilização dos dados produzidos pelo sensor, o qual seria considerado defeituoso.

Entretanto quando se aplica a nova equação de transferência, observa-se que os coeficientes inclinação e de correlação são elevados para 0,86. Além disso, a reta obtida passa bem mais próxima à origem – 0,049 contra 0,146 dos dados não corrigidos. Tal situação poderia indicar que, dependendo de uma análise mais detalhada e acompanhamento de prazo mais longo, talvez fosse possível utilizar, com algum grau de confiabilidade, os dados que antes seriam descartados.

Para tal, seria necessário que visitas fossem realizadas em dias de cheia, de modo a ampliar o escopo dos dados, para que se possa fazer uma análise do desempenho da nova função de transferência para níveis mais elevados. Uma coleção maior de dados também facilitar a determinação de equações mais precisas.

Utilizando-se o programa para efetuar uma análise das informações de nível coletadas nas visitas efetuadas à estação Tamandaré, dotada de um sensor modelo PTX1830, é possível comprovar a boa performance dessa peça.

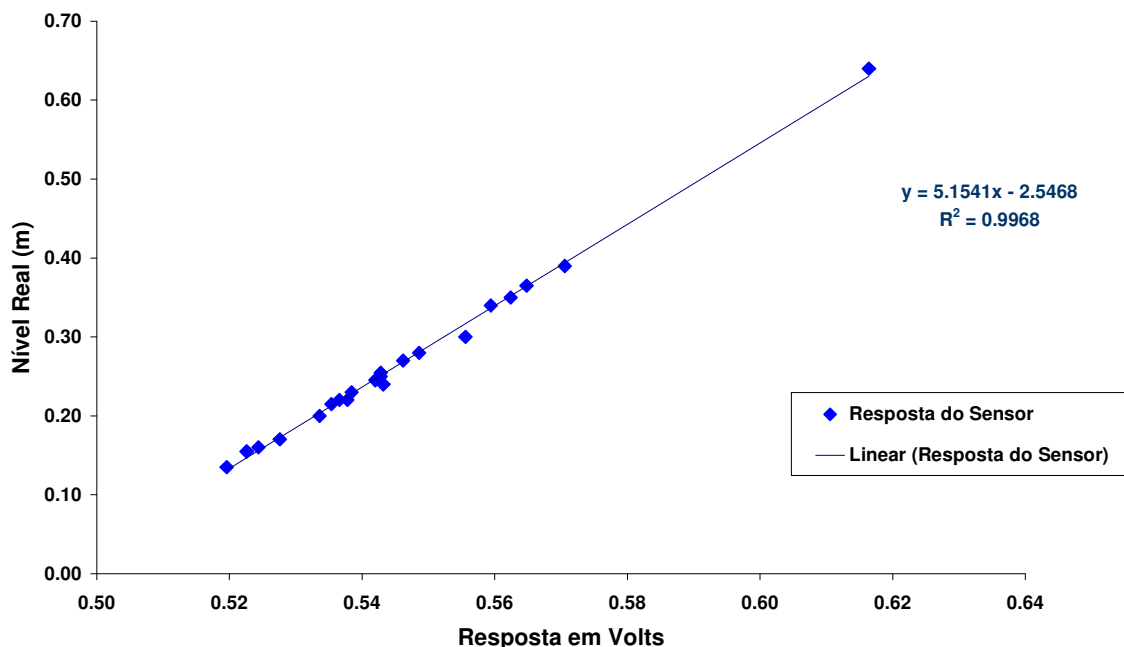
Dada a qualidade da resposta do sensor, nenhuma alteração em nos coeficientes de sua equação de transferência foi necessária. A Figura 28 mostra o histórico das visitas de acompanhamento.

FIGURA 28 – TELA DE ACOMPANHAMENTO DO SENSOR DE NÍVEL DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ

NÍVEL					
Nova Medida		Aplica Coeficiente			
Coeficientes	C 0 -2.45800	C 1 5.00000	Recalcula		
Data e Hora	Medição direta	Medida do Datalogger	Equipamento Medição Direta	Coeficiente Adotado/Mantido	Coeficiente Sugerido
10/7/03 2:15	0.640	0.642	regua	-2.4580	-2.4600
17/7/03 2:15	0.340	0.339	regua	-2.4580	-2.4570
25/7/03 2:52	0.230	0.234	regua	-2.4580	-2.4620
26/7/03 4:27	0.220	0.225	regua	-2.4580	-2.4630
6/8/03 7:45	0.215	0.219	regua	-2.4580	-2.4620
14/8/03 16:46	0.160	0.164	regua	-2.4580	-2.4620
21/8/03 14:28	0.155	0.155	regua	-2.4580	-2.4580
11/9/03 14:29	0.350	0.354	regua	-2.4580	-2.4620
10/10/03 16:11	0.280	0.285	regua	-2.4580	-2.4630
23/10/03 14:31	0.155	0.155	regua	-2.4580	-2.4580
6/11/03 13:36	0.135	0.140	regua	-2.4580	-2.4630
29/1/04 14:16	0.365	0.366	regua	-2.4580	-2.4590
6/2/04 15:24	0.390	0.395	regua	-2.4580	-2.4630
12/2/04 12:03	0.270	0.273	regua	-2.4580	-2.4610
19/2/04 14:58	0.255	0.256	regua	-2.4580	-2.4590
11/3/04 11:18	0.220	0.231	regua	-2.4580	-2.4690
18/3/04 15:31	0.245	0.252	regua	-2.4580	-2.4650
25/3/04 15:38	0.250	0.256	regua	-2.4580	-2.4640
20/5/04 0:00	0.200	0.210	regua	-2.4580	-2.4680
27/5/04 0:00	0.300	0.320	regua	-2.4580	-2.4780
13/1/05 15:00	0.240	0.258	regua	-2.4580	-2.4760
15/4/05 10:12	0.170	0.180	regua	-2.4580	-2.4680

Na Figura 29, pode ser observado o resultado da análise de resposta de tensão para o mesmo sensor. A correlação obtida para o processo de linearização da resposta em tensão é superior a 0,99 enquanto que a equação sugerida por esse processo é muito próxima da utilizada no sensor, comprovando matematicamente que o sensor apresenta boas condições de trabalho – fato que já havia sido observado diretamente.

FIGURA 29 – RESPOSTA EM TENSÃO DO SENSOR DE NÍVEL DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ



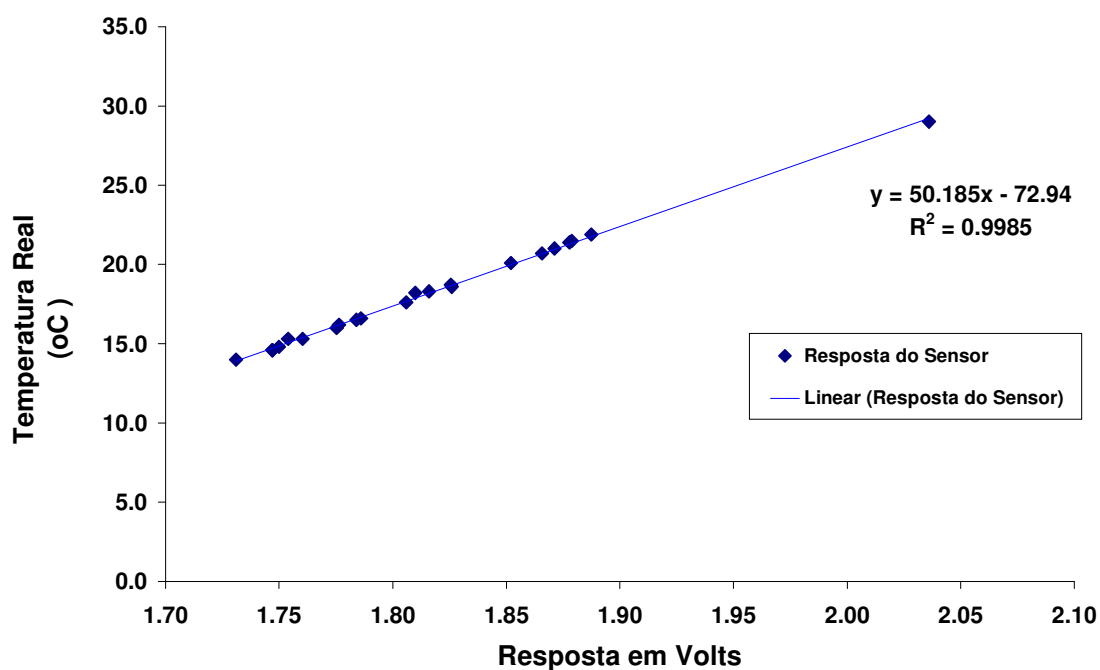
#### 4.4 SENSORES DE TEMPERATURA

Tendo sido demonstrada a validade da análise na detecção do funcionamento dos sensores, a técnica foi utilizada para verificar o desempenho dos sensores de qualidade de água instalados os quais são de mesmo modelo em ambas as estações.

Como já foi comentado, sensores de temperatura são completamente encapsulados e, por não depender de contato direto com o meio líquido, podem ser considerados mais resistentes que os outros sensores..

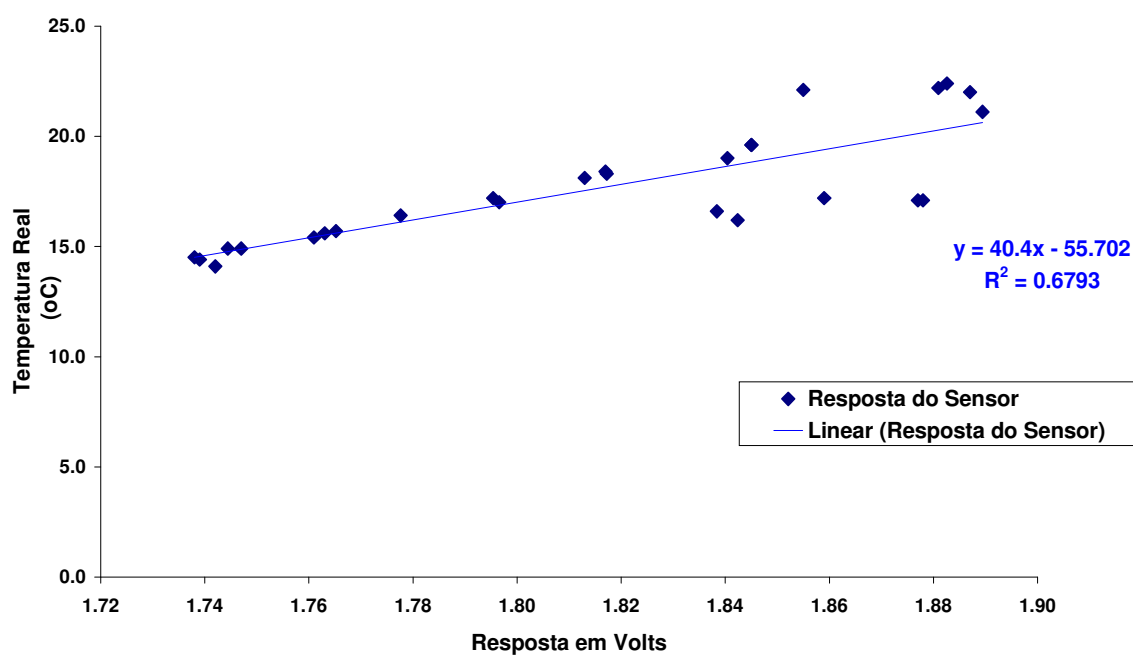
Os resultados da análise feita no sensor de temperatura da instalado na estação Tamandaré demonstram esse fato. Na Figura 30, pode ser observado o alto grau de correlação entre a resposta produzida pelo sensor e a temperatura real, comprovando o bom desempenho da peça.

FIGURA 30 – DESEMPENHO DO SENSOR DE TEMPERATURA DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ



Surpreendentemente, entretanto, os resultados obtidos para o sensor da estação Parque Tinguí foram diferentes, o que pode ser observado na Figura 31

FIGURA 31 – DESEMPENHO DO SENSOR DE TEMPERATURA DA ESTAÇÃO PARQUE TINGUÍ



Os dados registrados demonstram diferenças de mais de 4°C nas medidas (Figura 32). Pode-se observar, também, que as tentativas de se corrigir o coeficiente  $C_0$  ao longo do tempo foram relativamente infrutíferas, especialmente do início do experimento até a visita realizada no dia 23/10/2003.

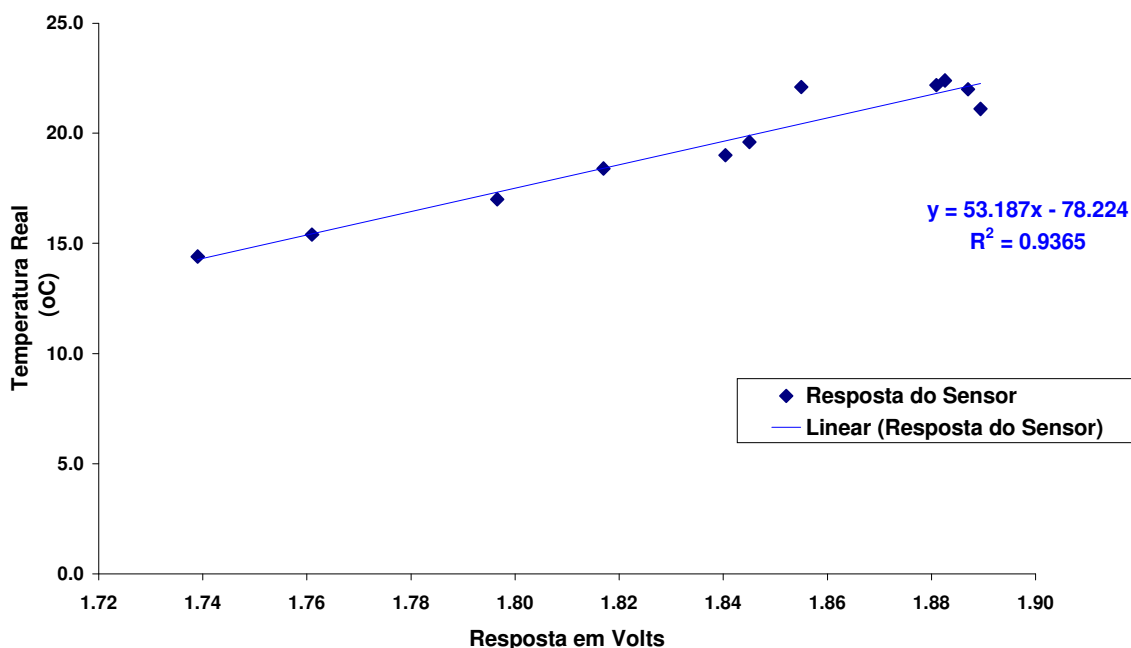
FIGURA 32 – TELA DE ACOMPANHAMENTO DO O SENSOR DE TEMPERATURA DA ESTAÇÃO PARQUE TINGUI

TEMPERATURA					
Nova Medida		Aplica Coeficiente			
Coeficientes		C 0	C 1	Recalcula	
		-72.65	50		
Data e Hora	Medição direta	Medição do Datalogger	Equipamento Utilizado **	Coeficiente Adotado/Mantido	Coeficiente Sugerido
11/7/03 3:04	14.90	12.22	cris-od	-75.0000	-72.3200
18/7/03 2:13	14.50	14.58	cond-daniel	-72.3200	-72.4000
24/7/03 3:54	16.40	16.56	cris-od	-72.3200	-72.4800
24/7/03 4:11	16.60	19.60	cris-od	-72.3200	-75.3200
26/7/03 6:09	16.20	19.80	cris-od	-72.3200	-75.9200
31/7/03 16:01	17.20	17.45	cris-od	-72.3200	-72.5700
31/7/03 16:28	17.20	20.38	cris-od	-72.5700	-75.7500
31/7/03 16:49	17.10	18.10	cris-od	-75.7500	-76.7500
31/7/03 16:51	17.10	17.15	cris-od	-76.7500	-76.8000
14/8/03 14:47	14.10	10.35	cris-od	-76.7500	-73.0000
14/8/03 14:53	14.90	10.60	pH	-76.7500	-72.4500
21/8/03 16:40	15.70	11.51	cris-od	-76.7500	-72.5600
11/9/03 17:11	15.60	11.40	cris-od	-76.7500	-72.5500
18/9/03 16:36	18.30	14.11	cris-od	-76.7500	-72.5600
10/10/03 14:18	18.10	13.90	cond	-76.7500	-72.5500
23/10/03 17:03	19.60	15.50	cond	-76.7500	-72.6500
23/10/03 17:09	19.60	19.60	cond	-72.6500	-72.6500
6/11/03 16:00	18.40	18.20	cris-od	-72.6500	-72.4500
29/1/04 18:19	22.40	21.48	cris-od	-72.6500	-71.7300
6/2/04 16:48	21.10	21.82	cond-cris	-72.6500	-73.3700
12/2/04 14:27	22.10	20.10	cris-od	-72.6500	-70.6500
19/2/04 16:10	22.20	21.40	cris-od	-72.6500	-71.8500
11/3/04 14:13	22.00	21.70	cris-od	-72.6500	-72.3500
25/3/04 17:49	19.00	19.37	cris-od	-72.6500	-73.0200
25/3/04 17:49	17.00	17.18	cris-od	-72.6500	-72.8300
13/5/04 16:30	15.40	15.40	cris-od	-72.6500	-72.6500
20/5/04 15:15	14.40	14.30	cris-od	-72.6500	-72.5500
** Termômetros digitais incluídos nos seguintes equipamentos Cris-OD: Oxímetro SCHOTT modelo OX1 Cond, Cond-Cris, Cond-Daniel: Condutivímetro SCHOTT modelo LF1 pH: pHmetro WTW, modelo pH 330i					



Após essa data, a resposta do sensor passou a ser mais estável, fato evidenciado na Figura 33, em que apresenta a análise da resposta do sensor a partir daquela data.

FIGURA 33 – ANÁLISE DE DESEMPENHO DO SENSOR DE TEMPERATURA DA ESTAÇÃO PARQUE TINGUI APÓS 23/10/2003



Torna-se evidente que a resposta do sensor mudou significativamente após aquela data, pois a correlação observada salta de 0,67 para 0,93. Entretanto, esses resultados ainda estão muito abaixo da correlação obtida para o sensor da estação Tamandaré, cujo valor é superior a 0,99.

Como os sensores de temperatura são encapsulados, o fato de haver problemas com os resultados do sensor de temperatura na estação Parque Tinguí pode indicar causas externas ao sensor. Pode haver problemas no canal de registro do datalogger, ou ainda algum fator, como o acúmulo de sedimentos por sobre o sensor, faz pensar na possibilidade de que a causa possa estar no datalogger, ao invés do sensor.

Entretanto, para que se tenha certeza da causa seria necessário desmontar a estação e testar o sensor em laboratório, o que não foi feito durante esse estudo em virtude tanto da exigüidade do tempo disponível quando da necessidade de se

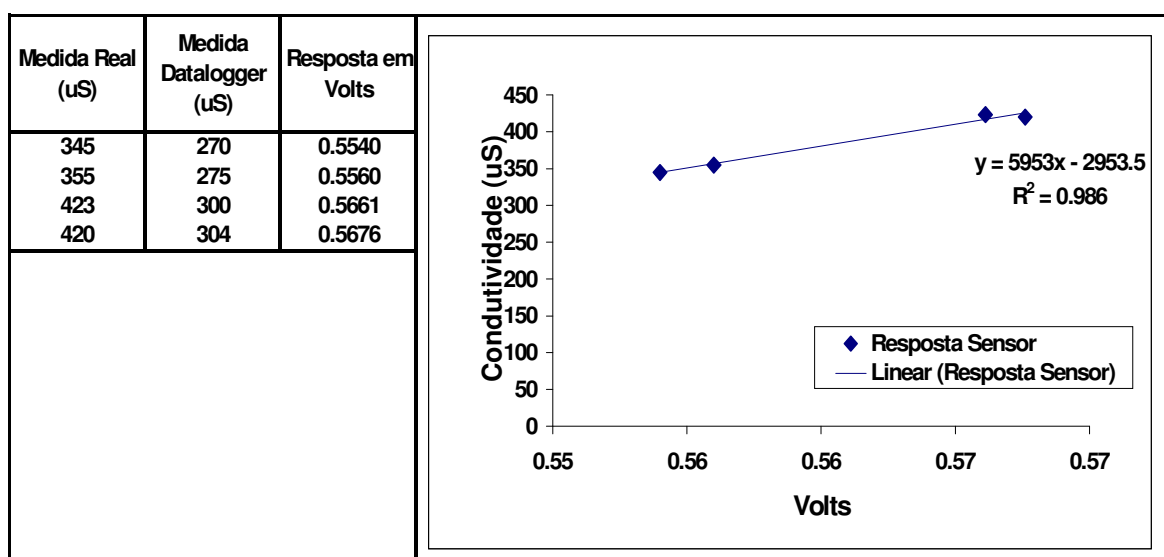
manter ao menos duas estações em operação, de modo a permitir a comparação do desempenho dos equipamentos.

#### 4.5 SENSORES DE CONDUTIVIDADE

Os dados de condutividade registrados pela estação Tamandaré, coletados quando das primeiras quatro visitas de campo, apresentavam diferenças significativas quando comparados às medidas feitas diretamente com o auxílio dos condutivímetros portáteis.

Decidiu-se tentar obter uma nova equação de transferência completa, ao invés de alterar apenas o coeficiente  $C_0$ , para testar a viabilidade desse procedimento. Para isso foi construído um gráfico relacionando a tensão de resposta do sensor com a condutividade medida, e uma equação de reta foi ajustada sobre os dados. O resultado do processo pode ser observado na Figura 34

FIGURA 34 – RESPOSTA DO SENSOR DE CONDUTIVIDADE DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ, REGISTRADA NAS QUATRO PRIMEIRAS VISITAS



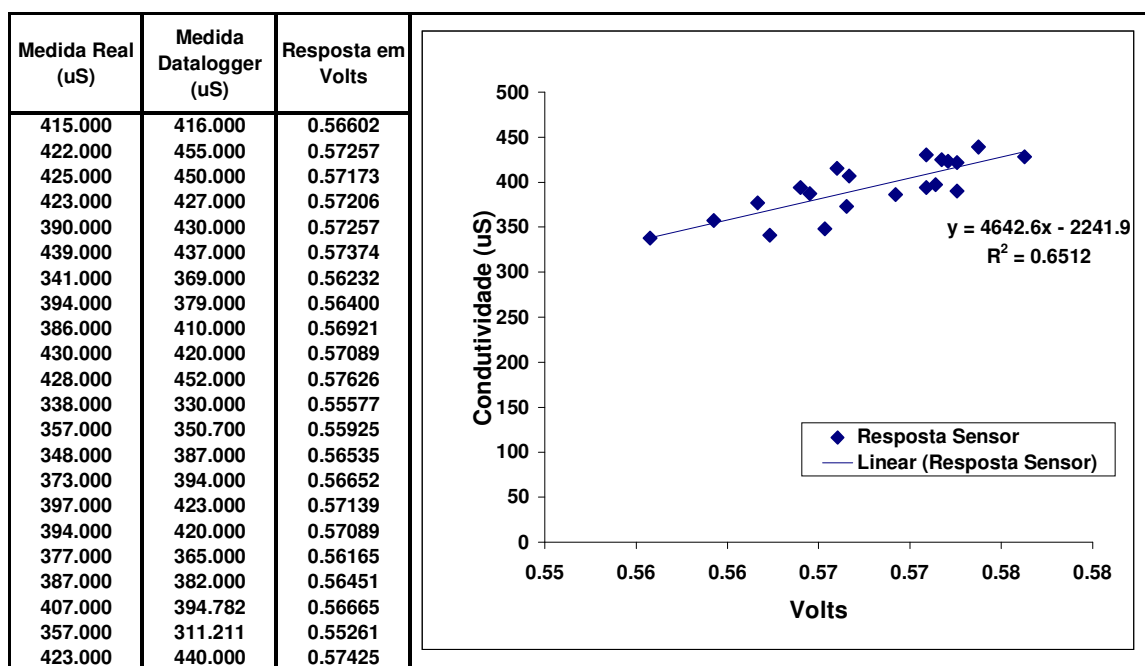
A equação de transferência, sugerida pelo processo de linearização, difere significativamente da equação que era utilizada pelo datalogger. Os coeficientes de ambas são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4 – COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES DE TRANSFERÊNCIA PARA O SENSOR DE CONDUTIVIDADE DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ

EQUAÇÃO	COEFICIENTE $C_0$	COEFICIENTE $C_1$
EM VIGOR	-1115	2500
SUGERIDA	-2953,5	5953

Decidiu-se aplicar os coeficientes sugeridos na Tabela 14 para uma nova função de transferência para o sensor de condutividade. O resultado, observado nas visitas subseqüentes, é apresentado na Figura 35.

FIGURA 35 – RESULTADO DA APLICAÇÃO DA NOVA FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DO SENSOR DE CONDUTIVIDADE DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ



Torna-se evidente que a resposta do sensor, embora produza valores próximos dos observados reais, não é boa. A primeira evidência é a própria diferença observada entre a os coeficientes da equação de transferência ( $C_0 = -2953,5$  e  $C_1 = 5953$ ) e os coeficientes obtidos pela nova aplicação do processo de linearização sobre o conjunto de leituras ( $C_0 = -2241,9$  e  $C_1 = 4642,9$ ). Porém, o que mais evidencia a falta de precisão é o baixo coeficiente de correlação obtido no processo (0,6512).

Para efeitos de comparação, a Tabela 5 apresenta os resultados que seriam lidos com através das três diferentes funções de transferência.

TABELA 5 – DESEMPENHO DO SENSOR DE CONDUTIVIDADE DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ COMPARANDO DIFERENTES EQUAÇÕES DE TRANSFERÊNCIA

Medida Real ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	Coeficientes	Medida Eq. Original ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	Medida Eq. Datalogger ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	Medida Nova Eq. ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	Erro Equação Original	Erro Eq Datalogger	Erro Nova Equação
	Co	-1115	-2954	-2242			
	C1	2500	5953	4643			
338		274	330	338	-64	-8	0
341		291	369	369	-50	28	28
348		298	387	383	-50	29	35
357		283	351	354	-74	-6	-3
357		267	311	324	-90	-46	-33
373		301	394	388	-72	21	15
377		289	365	366	-88	-12	-11
386		308	410	401	-78	24	15
387		296	382	379	-91	-5	-8
390		316	430	416	-74	40	26
394		295	379	377	-99	-15	-17
394		312	420	409	-82	26	15
397		313	423	411	-84	26	14
407		302	395	389	-105	-12	-18
415		300	416	386	-115	1	-9
422		316	455	416	-106	33	-6
423		315	427	414	-108	4	-9
423		321	440	424	-102	17	1
425		314	450	412	-111	25	-13
428		326	452	433	-102	24	5
430		312	420	409	-118	-10	-21
439		319	437	422	-120	-2	-17
Erro Médio					-90.0	8.7	-1.5
Desvio Padrão					20.14	21.87	18.69
Desvio Padrão %					5.12	5.56	4.75

É possível observar a evolução dos resultados da transformação da resposta do sensor. A coluna “Medida Equação Original” apresenta os valores que seriam lidos caso a equação inicial, sugerida pelo fabricante, tivesse sido mantida ao longo dos experimentos. A coluna “Medida Equação Datalogger” apresenta os valores

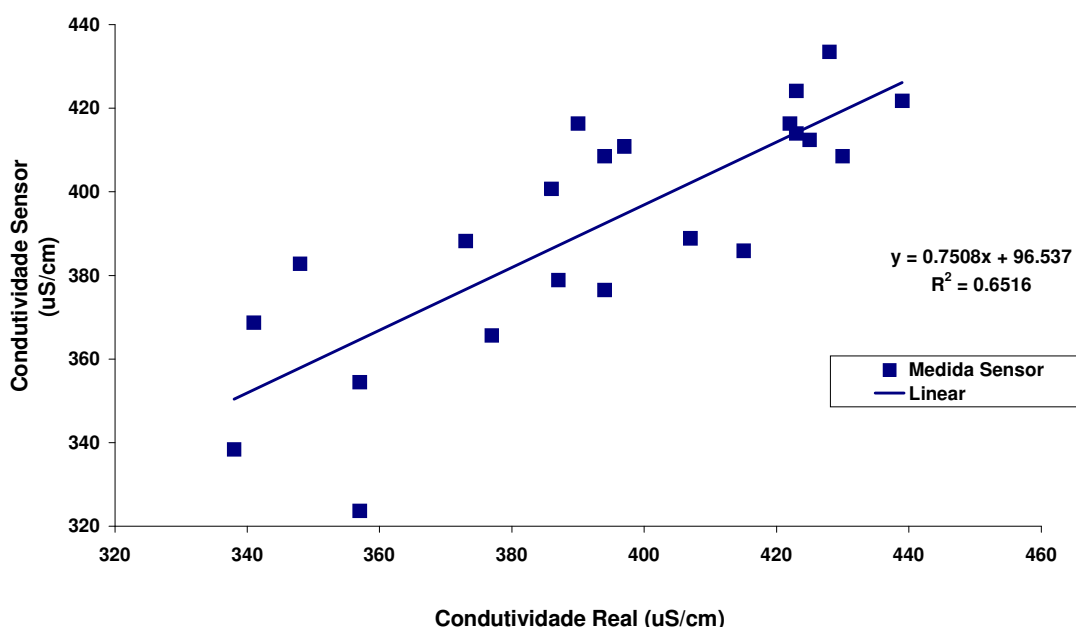
realmente lidos pelo datalogger, cuja função de transferência foi mantida com os coeficientes sugeridos na Tabela 4. A terceira coluna, intitulada “Medida Nova Equação” apresenta os valores corrigidos pela aplicação da equação obtida pela re-aplicação do processo de linearização sobre os dados lidos da Figura 35.

Pode-se observar a redução do erro médio, que na equação original era de aproximadamente  $-90\mu\text{S}/\text{cm}$ , reduzido para  $14\mu\text{S}/\text{cm}$  utilizando-se a equação instalada no datalogger, e reduzido ainda mais, para  $-1,4\mu\text{S}/\text{cm}$  se aplicada a equação corrigida sugerida na Figura 35. Entretanto, o desvio padrão não é alterado no processo, permanecendo na casa dos  $20\mu\text{S}/\text{cm}$  nas três equações. Considerando o valor médio da condutividade é de aproximadamente  $350\mu\text{S}/\text{cm}$ , o desvio padrão calculado para as medidas representaria cerca de 5%.

É interessante notar que, embora o sensor apresente resposta próxima aos valores reais, a correlação observada, pouco superior a 0,65, demonstra que o sensor não responde adequadamente aos estímulos externos. Em várias ocasiões, enquanto o valor real da condutividade sobe, o valor produzido varia de maneira contrária. Algumas situações desse tipo foram ressaltadas em amarelo para facilitar a visualização.

Na Figura 36, pode ser observado mais claramente o grau de dispersão das medidas produzidas pelo sensor, o qual pode ser tomado como um exemplo de equipamento cujo desempenho operacional é baixo.

FIGURA 36 – CONDUTIVIDADE REAL VERSUS CONDUTIVIDADE MEDIDA PELO SENSOR DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ



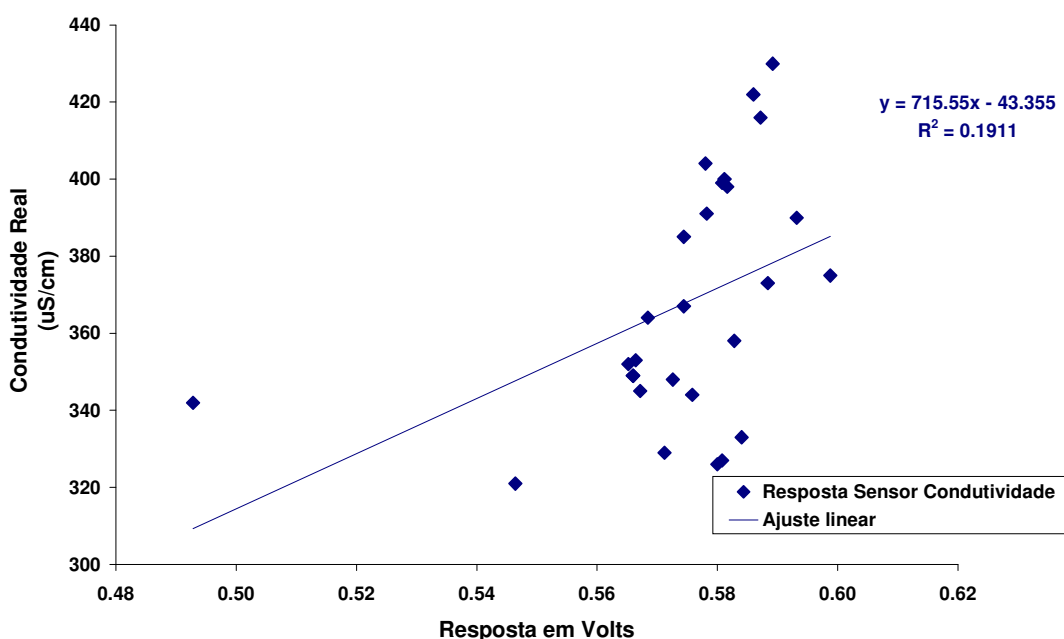
Aplicando o processo de linearização, pode ser observado que o coeficiente angular é 0,75, quando o normal seria próximo da unidade. Também se observa que se a condutividade real se aproximasse de zero, o sensor ainda informaria cerca de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  se o padrão de desempenho fosse mantido. Além disso, a correlação obtida (0,65) continua a indicar a baixa confiabilidade dos dados.

Em virtude da pequena amplitude de variação da condutividade real registrada quando das visitas à estação, não é possível saber qual seria a reação do sensor caso a condutividade real subisse para valores acima de 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Entretanto, algumas informações geradas por esse sensor ainda podem ser aproveitadas, pois a magnitude do erro é conhecida e o sensor responde, embora com uma correlação baixa, aos estímulos provocados pelas alterações da condutividade da água.

Uma situação bastante diversa pode ser observada no sensor de condutividade instalado na estação Parque Tinguí. Na Figura 37 pode ser observada a ausência de correlação entre a condutividade real e a resposta do sensor registrada no datalogger.

FIGURA 37 – DESEMPENHO DO SENSOR DE CONDUTIVIDADE DA ESTAÇÃO PARQUE TINGUÍ



O equipamento foi considerado defeituoso para efeitos desse estudo. Entretanto, não pode ser descartada a possibilidade de que o sensor possa ter sua capacidade operacional recuperada quando for possível efetuar o desmonte da estação.

#### 4.6 SENSORES DE pH

Os sensores de pH das estações Tamandaré e Parque Tingüí apresentavam sinais claros de defeito. Ao longo das visitas de acompanhamento, os valores registrados pelos sensores diferiam de maneira substancial do valor do pH registrado manualmente.

A aplicação da sistemática utilizada para os sensores anteriores somente fez comprovar cabalmente a ausência de correlação entre os dados gerados pelos sensores e os estímulos externos para os quais foram projetados.

As Figuras 38 e 39 demonstram essa realidade de maneira inequívoca, motivo pelo qual não foram realizados quaisquer outros estudos com esses sensores.

FIGURA 38 – DESEMPENHO DO SENSOR DE pH DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ

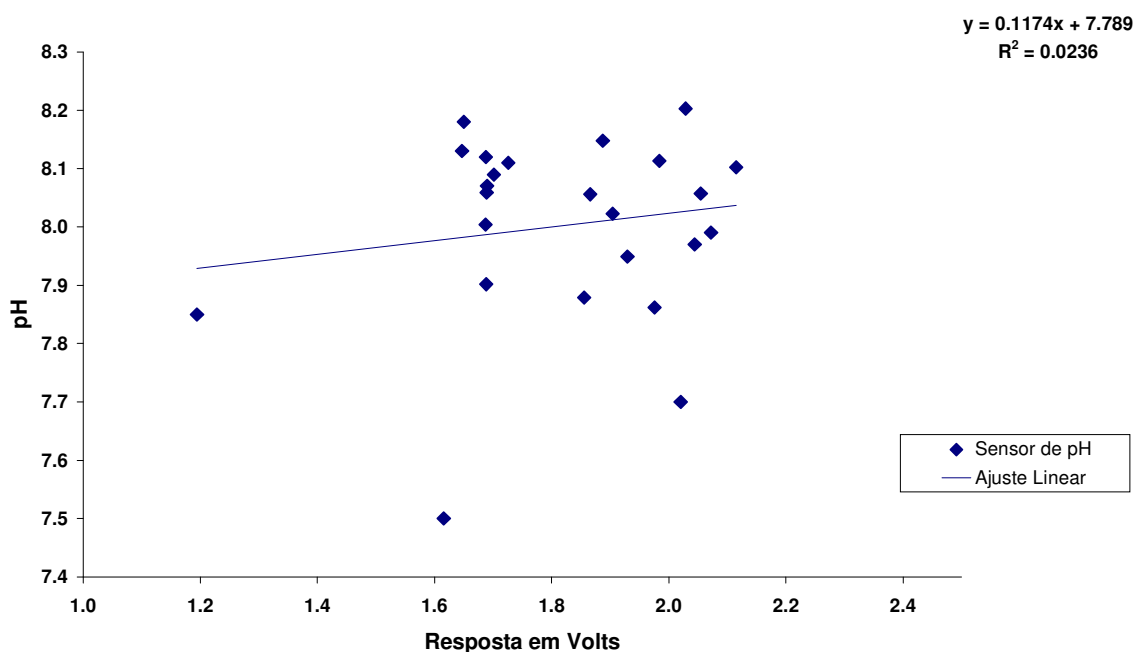
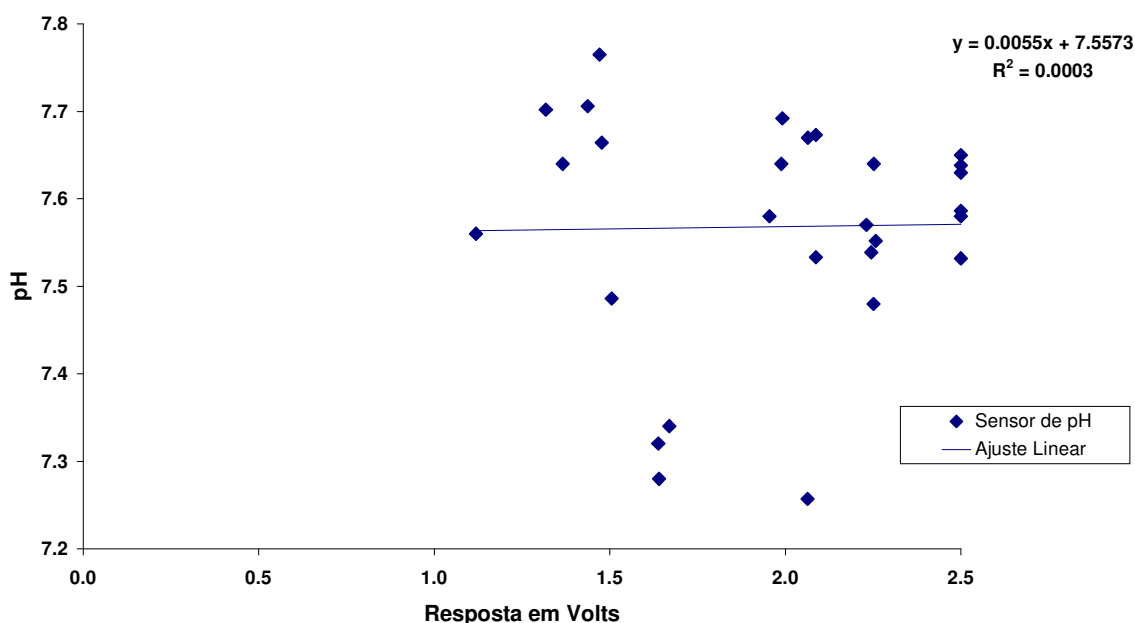


FIGURA 39 – DESEMPENHO DO SENSOR DE pH DA ESTAÇÃO PARQUE TINGUI



Como pode ser observado, os resultados são significativamente dispersos. A tentativa de adaptação de uma reta aos dados produzidos indica a ausência de correlação entre o pH medido e os valores registrados pela estação

#### 4.7 SENSORES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO

O mesmo tipo de análise foi utilizado para comprovar matematicamente a falta de resposta dos sensores de oxigênio dissolvido. Em ambas as estações a resposta do sensor apresenta completa ausência de linearidade, como pode ser observado nas Figuras 40 e 41.

Da mesma forma que o ocorrido com os sensores de pH, os de oxigênio dissolvido foram considerados defeituosos para efeitos desse estudo. Ambas as peças aguardam remoção, a ser realizada em futuro próximo, cujo objetivo será o de tentar resgatar suas condições operacionais. Tal tarefa, entretanto, não foi levada a cabo ainda durante o processo de elaboração dessa dissertação.



FIGURA 40 – DESEMPENHO DO SENSOR DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO DA ESTAÇÃO TAMANDARÉ

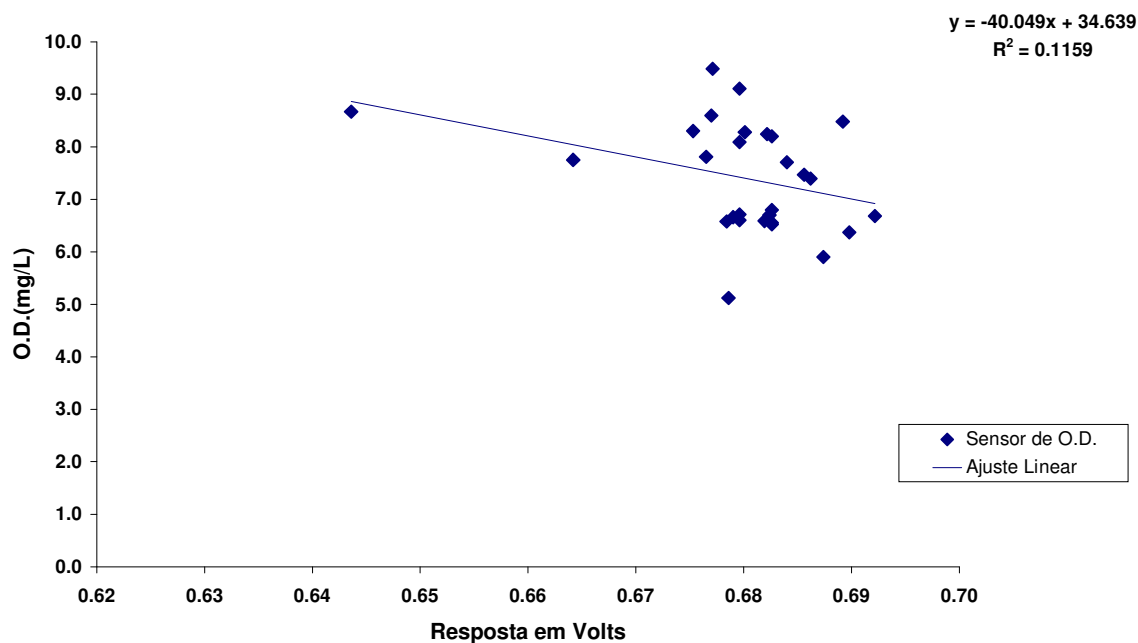
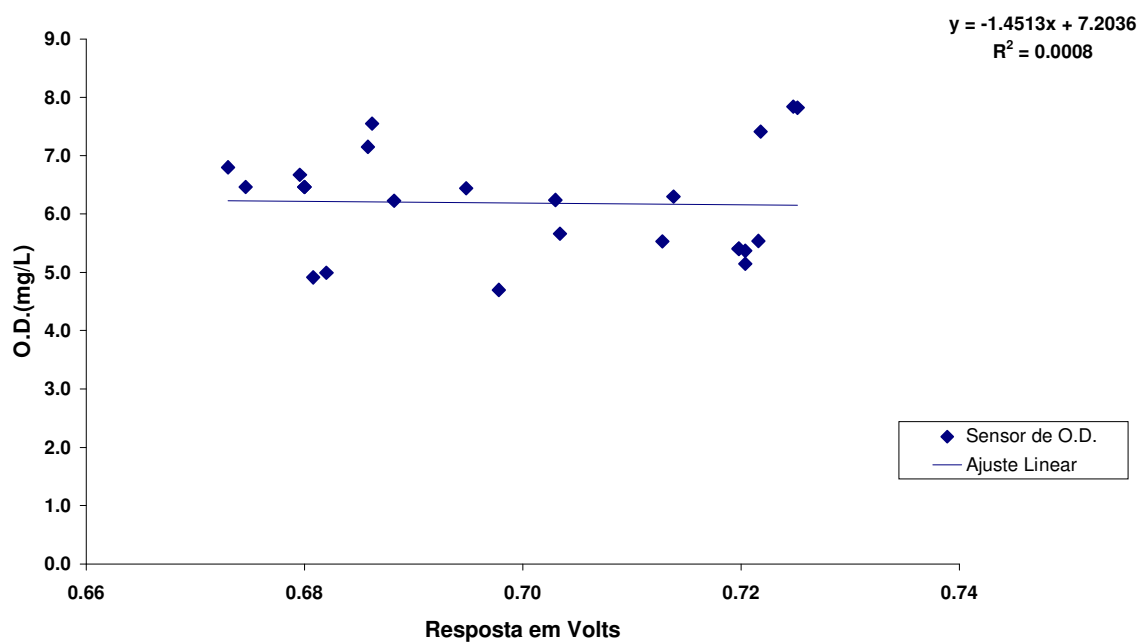


FIGURA 41 – DESEMPENHO DO SENSOR DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO DA ESTAÇÃO PARQUE TINGUI



Da mesma forma que o ocorrido com os sensores de pH, os dados demonstram a inexistência de correlação entre os valores medidos manualmente e os registrados automaticamente no caso dos sensores de OD.

#### 4.8 ANÁLISE CRÍTICA

O processo idealizado para o acompanhamento das estações em campo mostrou-se adequado para a verificação da condição operacional dos sensores. Foi possível quantificar os erros, o que permitiu identificar quais dos sensores encontravam-se em condições operacionais, quais os danificados e quais os que possivelmente poderiam ter sua capacidade de operação recuperada caso fossem realizados procedimentos de manutenção.

Mostrou-se essencial o registro das alterações feitas nas equações de transferência de cada sensor. Sem esses dados seria impossível ajustar medidas anteriores tomando-se por base as novas equações sugeridas.

Demonstrou-se também que é possível acompanhar e corrigir a modificação da resposta dos sensores desde que se façam visitas periódicas em intervalos de tempo adequados à realidade de cada sensor.

## **5. ANÁLISE DO POTENCIAL DE SENSORES ELETRÔNICOS COM BASE EM PROCEDIMENTOS EM LABORATÓRIO**

Nesse capítulo são apresentados os principais resultados dos testes realizados em laboratório. A maioria dos ensaios foi realizada com os sensores retirados da Estação Parque Barigüi.

Testes comparativos entre sensores para um mesmo parâmetro foram realizados apenas nos casos do nível e da precipitação. Isto ocorreu em virtude de se ter obtido para a realização dois sensores novos – a saber: um sensor PTX1830, marca DRUCK (nível), e um sensor RG600 marca Global Water (precipitação).

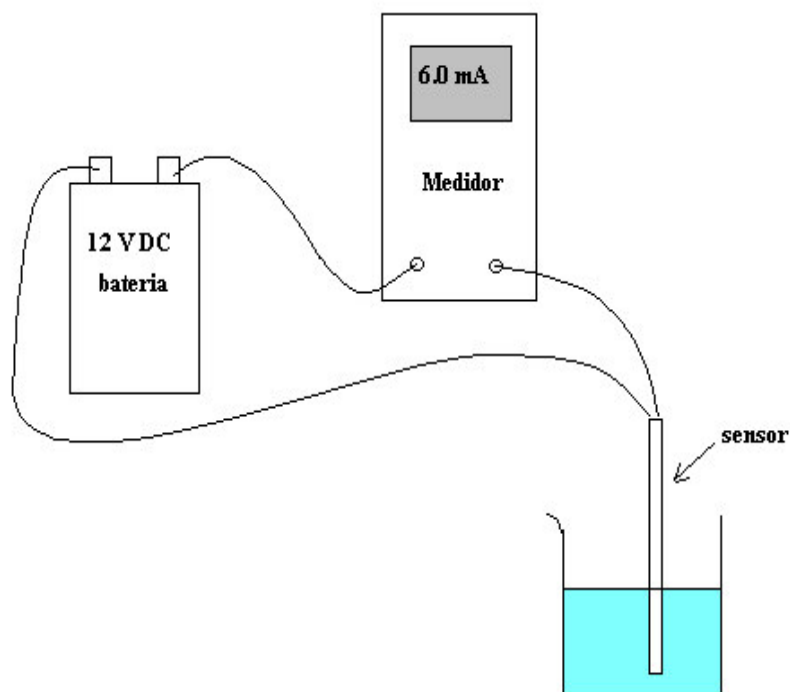
### **5.1 AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS SENSORES**

A tentativa de leitura dos dados da estação Parque Barigüi revelou que essa estava inoperante. Por esse motivo, decidiu-se desmontar inteiramente a estação, removendo os equipamentos para que fossem estudados mais detalhadamente em laboratório. No Anexo 1 desse documento, encontra-se um relatório detalhado sobre os motivos que levaram a estação a entrar em pane, posto tratar-se de um problema provavelmente comum, mas que foge um pouco ao escopo dessa dissertação.

Os sensores retirados da estação Parque Barigüi, os quais encontravam-se bastante sujos, foram lavados cuidadosamente com água corrente e uma pequena escova bastante macia.

Em seguida, foram realizados testes iniciais, destinados a avaliar a capacidade de resposta de cada sensor. Os sensores foram conectados diretamente à bateria da própria estação (12V), sendo a corrente de resposta de cada um deles foi medida enquanto eram expostos a diferentes situações. Um esquema simples dos testes realizados pode ser observado na Figura 42.

FIGURA 42 – ESQUEMA DOS TESTES INICIAIS.



É importante mencionar que é esperada uma proporcionalidade entre a grandeza física que se pretende medir e a resposta em corrente produzida pelo sensor. Como foi comentado na seção 3.5, os sensores analógicos são projetados para apresentar resposta em corrente na faixa de 4 a 20 mA, dependendo do estímulo externo ao qual o sensor está sendo submetido. Dessa forma, os testes iniciais foram realizados visando apenas verificar se a variação dos estímulos externos produzia alterações na corrente de resposta. Os resultados podem ser observados na Tabela 6.

TABELA 6 – RESULTADO DOS TESTES INICIAIS

Sensor de Temperatura		Sensor de Condutividade		Sensor de Nível		Sensor de OD		Sensor de pH
Temperatura	Corrente (mA)	Tipo de Água	Corrente (mA)	Nível Aprox. (m)	Corrente (mA)	Tipo de Água	Corrente (mA)	Sensor Danificado
ambiente	15.7	deionizada	5.2	0.2	5.2	saturada	5.3	
gelada	12.7	de torneira	6.1	0.4	5.2	sem OD	5.3	
		salgada	8.9	0.6	5.2			

#### Sensor de Temperatura

No caso do sensor de temperatura, experimentou-se mergulhar o sensor em águas geladas e tépidas. A variação da corrente obtida demonstrou que o equipamento estava em funcionamento. Como pode ser observado nas primeiras duas colunas da Tabela 6, a corrente observada acompanhou a variação da temperatura da água na qual o sensor estava sendo mergulhado.

#### Sensor de Condutividade

Resultado semelhante foi obtido quando o sensor de condutividade foi testado. Três recipientes, um contendo água de torneira, outro com água deionizada e o terceiro contendo uma solução saturada de cloreto de sódio foram utilizados para a comparação.

Como pode ser visto na seção destinada a esse sensor da Tabela 6, é possível perceber que o sensor apresentava resposta compatível com os estímulos diferentes. Para a água deionizada, a qual apresenta condutividade muito baixa, o valor da corrente registrada ficou próximo a 5.2 mA. Uma pequena variação para cima pôde ser observada quando o sensor era mergulhado no recipiente contendo água de torneira (6.1 mA), a qual apresenta condutividade maior. Já no caso do recipiente contendo água salgada, a resposta de corrente variou bruscamente para cima, passando dos 8.9 mA.

Entretanto, esperava-se respostas próximas a 4 mA para água deionizada, pois a ausência de íons produz baixa condutividade, correspondendo ao fundo da

escala. Também no caso da água salgada, esperava-se resultados bem mais elevados, pois a dissociação do NaCl produz um ambiente bastante condutivo.

A amplitude da variação observada (5,0 <> 9,0 mA) ficou muito aquém do esperado (4,0 <> 20,0 mA), indicando problemas com o sensor.

#### Sensor de pH

O sensor de pH apresentava dano permanente pois, já quando da limpeza, foi detectado que o bulbo do sensor, que no caso era de vidro, estava quebrado, embora nada indicasse, externamente, que o conjunto dos sensores tivesse recebido qualquer impacto.

#### Sensor de Oxigênio Dissolvido (OD)

O sensor de OD foi testado com auxílio de dois recipientes. O primeiro continha água comum, recém tirada da torneira, o que garantia, portanto, um nível de OD próximo ao da saturação. O segundo continha uma solução de Sulfito de Sódio, produto esse que reage com o oxigênio dissolvido na água, removendo-o por completo, sendo indicado pelo fabricante para a produção de uma solução de referência com 0% de OD.

Foi observado que o sensor não apresentava alteração na corrente de resposta, quando esse era mergulhado alternadamente em cada recipiente. A corrente registrada ficava próxima de 5,0 mA para ambas situações, indicando defeito.

Tentou-se a recuperação do sensor. Para isto, seguindo-se cuidadosamente o procedimento indicado no manual do equipamento, foi substituída tanto a membrana quanto a solução eletrolítica, utilizando-se para tal um kit fornecido pelo fabricante. Entretanto, o procedimento não produziu os resultados desejados, pois quando os testes foram repetidos, o sensor continuou a apresentar corrente de resposta próxima a 5 mA, não sendo capaz, portanto, de perceber a diferença entre soluções que deveriam induzir respostas próximas à base e ao topo da escala. Em virtude do exposto, decidiu-se dar a peça por definitivamente danificada.

### Sensor de Nível

Os resultados dos testes iniciais efetuados no sensor de nível indicaram, a princípio, que a peça também estava danificada. A peça foi mergulhada em profundidades diferentes, tendo falhado em apresentar qualquer variação da corrente de resposta que pudesse ser correlacionada aos estímulos a que era submetida.

Entretanto, após a realização de um procedimento de manutenção não convencional, que será descrito com mais detalhes na seção 5.2, foi possível detectar variação na corrente de resposta compatível com as diferentes profundidades em que o sensor foi mergulhado.

### Sensor de Precipitação

O sensor pluviométrico do tipo conhecido por seu nome em inglês - *Tipping Bucket* (TB)– foi cuidadosamente lavado e enxaguado removendo-se os detritos deixados pela presença de formigas (ver Anexo 1). Testado empiricamente com o uso de um Ohmímetro, foi observado que o equipamento produzia os pulsos elétricos que lhe são característicos, sendo considerado em condições operacionais.

Na Tabela 6, a seguir, apresentamos um resumo da situação dos sensores que removidos da estação Parque Barigüi, quando do início desse estudo.

TABELA 7– SITUAÇÃO DOS SENSORES REMOVIDOS DA ESTAÇÃO PARQUE BARIGÜÍ

<b>Tipo de Sensor</b>	<b>Modelo</b>	<b>Condição de Funcionamento</b>
Nível	WL 300	operacional
OD	WQ 401	com defeito
pH	WQ 201	com defeito
Temperatura	WQ 101	operacional
Condutividade	WQ 301	operacional
Precipitação	RG 200	operacional

Terminados os testes iniciais, passou-se a uma análise mais aprofundada da situação dos sensores que se encontravam em condições operacionais.

## 5.2 SENSOR DE TEMPERATURA WQ301

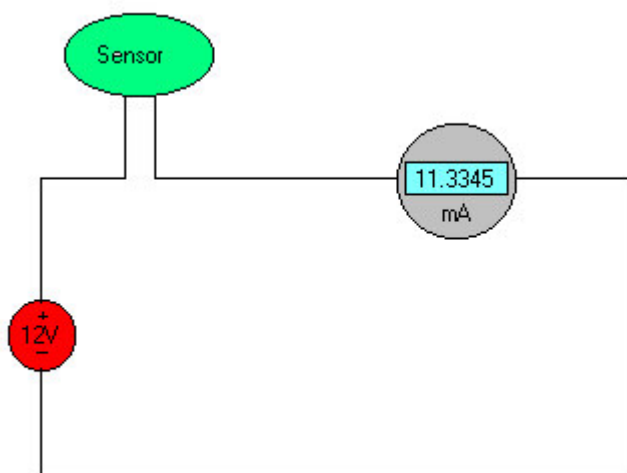
Após a realização dos testes iniciais descritos na seção anterior, foram realizados experimentos visando calibrar o sensor de temperatura.

Decidiu-se pela descrição minuciosa dos procedimentos, os quais foi adotados como padrão para os sensores analógicos utilizados nesse estudo, para que se tenha uma referência do que, nesse documento, se entende pelo termo “calibração”.

O sensor de temperatura foi escolhido para essa descrição por ser um sensor mais estável e menos sujeito a interferências externas, pois é um sensor completamente encapsulado, não havendo, portanto, contato direto entre o transdutor e o líquido.

Seguindo-se a recomendação do fabricante, foi montado um circuito de calibração bastante simples, o qual é apresentado na Figura 43.

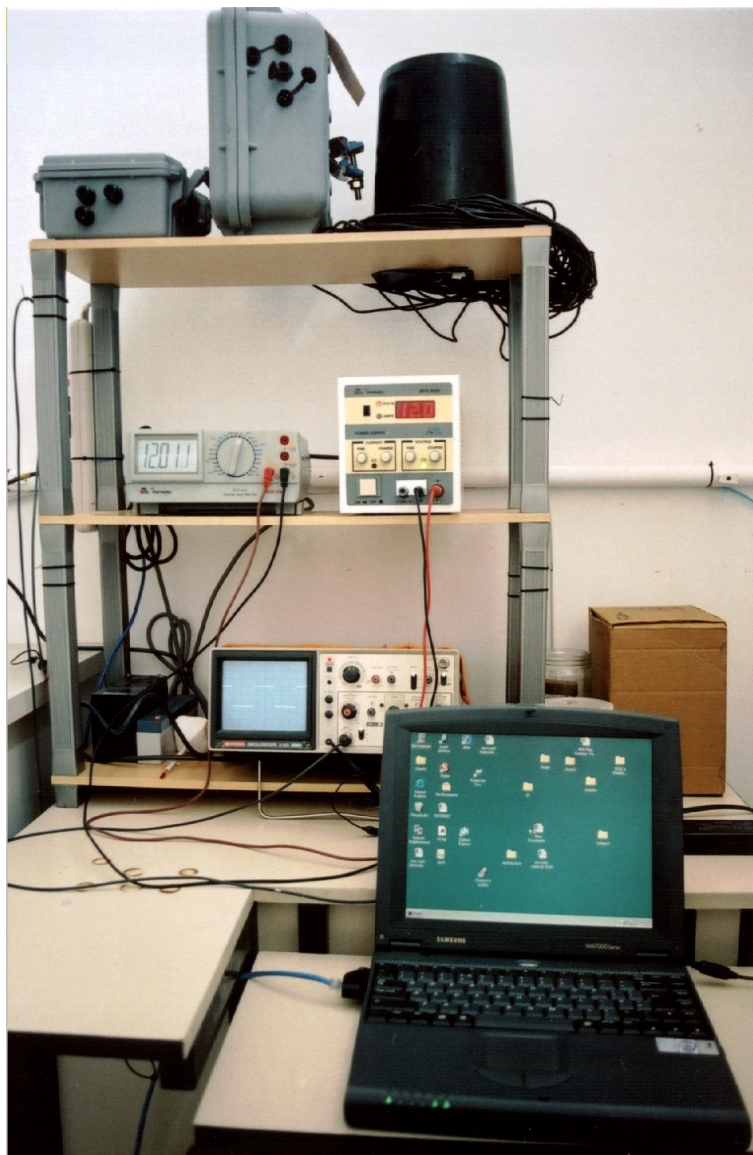
FIGURA 43 – CIRCUITO PARA CALIBRAÇÃO DE SENSORES ELETRÔNICOS



Para a construção do circuito acima, foram utilizados uma fonte de corrente contínua regulável, modelo MPS303-D, e um multímetro digital de precisão, modelo MDM 8045, ambos da marca MINIPA que são apresentados na Figura 44. A fonte foi ajustada para 12 Volts e o multímetro foi ajustado para medir a corrente em mili-Amperes com precisão de 4 casas decimais.



FIGURA 44 – EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS UTILIZADOS NA PESQUISA



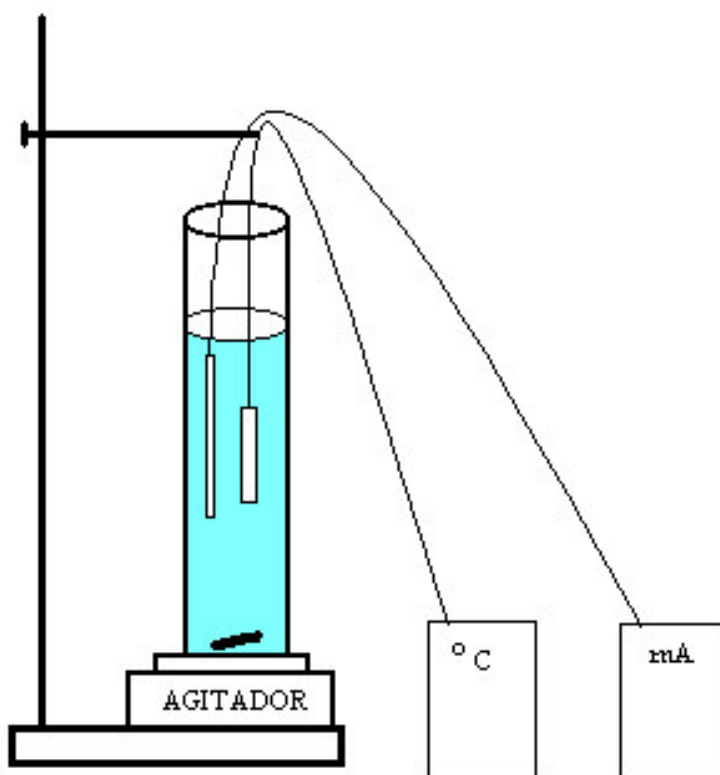
É importante salientar que o sensor de temperatura, por ter seu transdutor protegido e encapsulado, apresenta um tempo de resposta relativamente alto para as variações de temperatura. Observou-se que a corrente medida somente se estabilizava após o sensor ter permanecido pelo menos cinco minutos exposto à mesma temperatura. Tal fato representou uma certa dificuldade operacional, posto que não foi possível encontrar um recipiente adiabático adequado para o experimento.

Para solucionar esse problema, como o experimento foi realizado em um período em que a temperatura ambiente era bastante elevada, resolveu-se utilizar

um recipiente de acrílico com capacidade para cerca de 5 litros, cujo formato permitia que se mergulhasse inteiramente o sensor. O controle da temperatura foi efetuado através da adição de gelo picado ou água morna, sendo o excesso retirado por sifonamento.

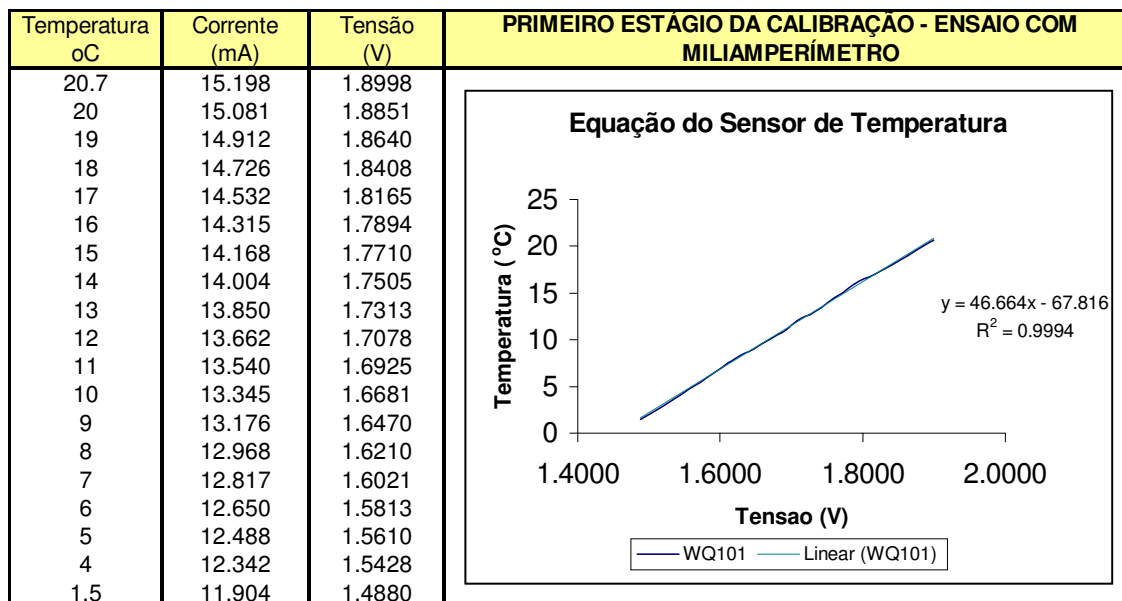
Para evitar que se formassem gradientes verticais de temperatura, foi utilizado um agitador magnético marca Corning, modelo PC310. O monitoramento da temperatura foi efetuado através das leituras produzidas por um Condutivímetro digital da marca SCHOTT, modelo LF1, o qual é dotado de um termômetro digital com sensibilidade para 2 casas decimais. Um esquema do experimento pode ser observado na Figura 45.

FIGURA 45 – ESQUEMA DO ENSAIO DE CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE TEMPERATURA



Os valores da corrente lida foram convertidos em tensão pela multiplicação pela resistência padrão de 125 Ohms, sendo utilizados para o cálculo do primeiro estágio da função de transferência do sensor, a qual é obtida através de regressão linear aplicada aos valores obtidos, conforme mostrado na Figura 46.

FIGURA 46 – PRIMEIRO ESTÁGIO DE CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE TEMPERATURA



Após o primeiro procedimento, a equação obtida pelo processo de linearização (Eq 4) foi inserida no *datalogger* e o sensor foi a ele conectado.

$$T(^{\circ}C) = 46.664 * V - 67.816 \quad (4)$$

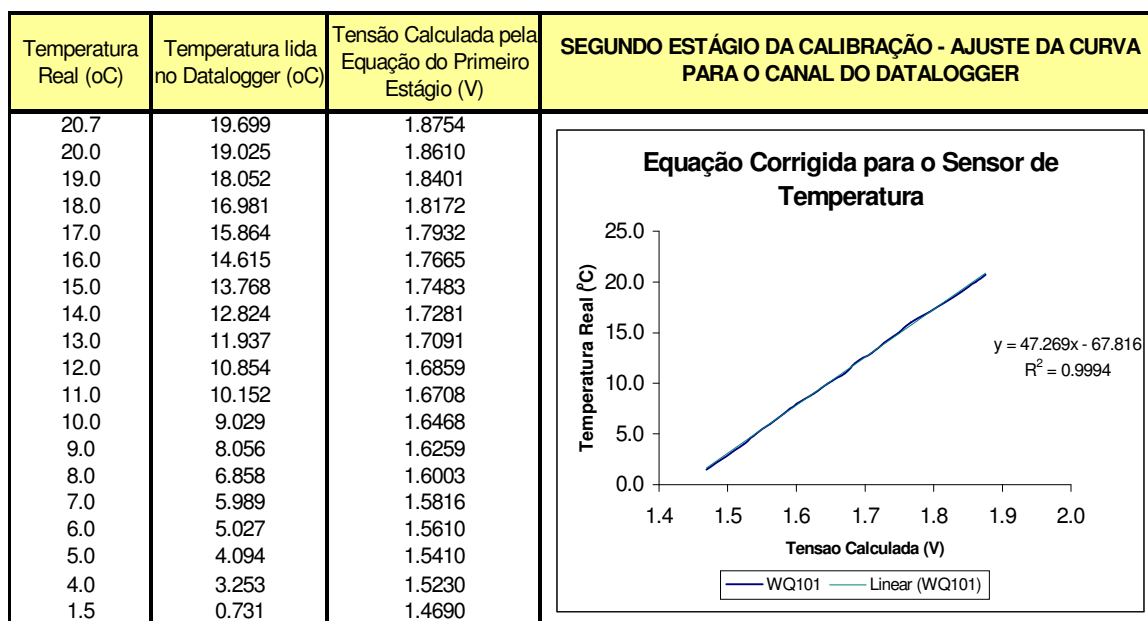
O mesmo teste foi então repetido, sendo que os valores da temperatura registrada pelo *datalogger* (°C) foram comparados com os reais.

Isolando-se o termo da tensão em Volts da Eq 4, foi revertido o cálculo produzido pelo programa de leitura para cada temperatura registrada. Dessa forma, foram obtidos os valores da tensão em Volts realmente registrados pelo *datalogger*.

De posse destas medidas, uma nova regressão linear foi realizada, obtendo-se uma nova função de transferência para o sensor.

Esses valores foram então utilizados para recalculer a equação do sensor, conforme mostrado na Figura 47.

FIGURA 47 – SEGUNDO ESTÁGIO DE CALIBRAÇÃO

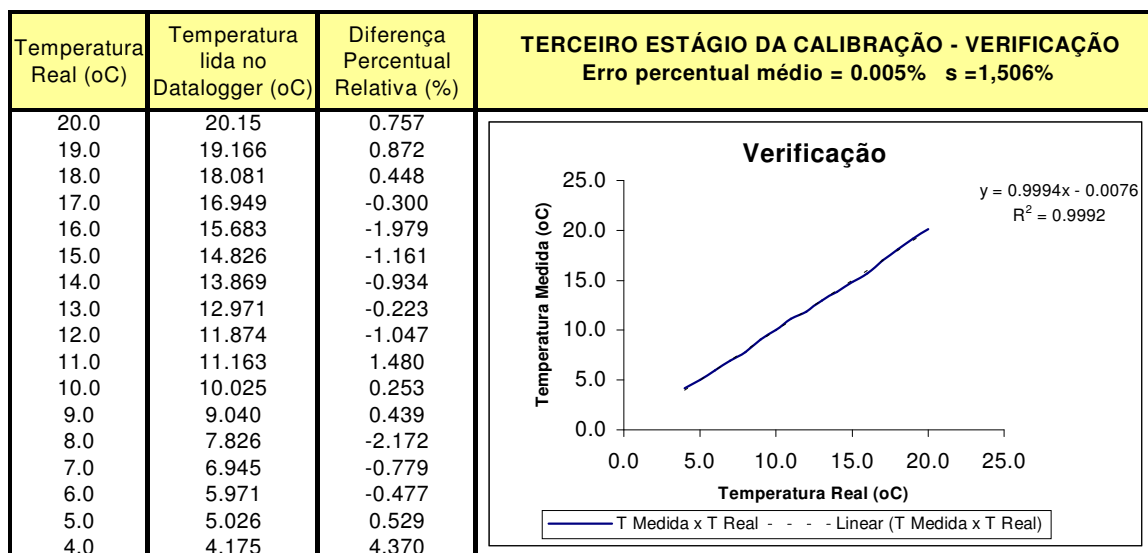


Após o segundo estágio de calibração, a equação obtida pelo processo de linearização (Eq 5) foi inserida no datalogger, para que sua eficiência pudesse ser verificada no terceiro estágio da calibração.

$$T(^{\circ}C) = 47.269 * V - 67.816 \quad (5)$$

Nessa etapa, o teste foi repetido mais algumas vezes, para verificar possíveis discrepâncias entre os valores reais da medida e os produzidos pelo sensor. Os resultados confirmaram que a equação é adequada ao sensor, para a faixa de variação entre 4 e 20 °C, conforme pode ser observado na Figura 48

FIGURA 48 – TERCEIRO ESTÁGIO DE CALIBRAÇÃO



Comparando-se as leituras do *datalogger* com as temperaturas de referência, medidas pelo termômetro digital, foi possível observar um erro médio de 0,005%, com desvio padrão de 1,506%, o que foi considerado satisfatório para o desempenho do sensor.

Caso a resultado da calibração não tivesse sido satisfatório, teríamos repetido tanto o segundo quanto o terceiro procedimento, até que a equação de transferência pudesse produzisse resultados com pequena margem de erro.

O procedimento de calibração descrito, o qual parte da comparação da medição direta da corrente para, em seguida, utilizar a função de transferência reversa para comparar valores registrados pelo *datalogger* com os valores da grandeza a ser medida, foi adotado como padrão para os demais sensores analógicos.

Importante ressaltar que o sucesso da calibração do sensor de temperatura era necessário para que ficasse estabelecida a validade dos procedimentos de calibração adotados. O processo revelou-se adequado para a utilização em sensores analógicos.

### 5.3 SENSORES DE NÍVEL WL - 300 E PTX - 1830

Uma atenção especial foi dada ao sensor de nível, modelo WL300 da Global Water. Esse tipo de sensor, que havia sido montado originalmente em todas as estações, apresentou vários problemas operacionais, que passam a ser relatadas a seguir:

- a) das quatro unidades originalmente instaladas, uma entrou em pane, logo após a instalação, na estação Tamandaré. Como pode ser observado na Figura 49, o sensor nela instalado começou a produzir leituras incompatíveis com a realidade da estação, registrando níveis acima de 2,0 m. Em seguida, passou a produzir leituras alternantes entre +5,0 m e -0,20 m, o que pode ser observado na Figura 50, o que motivou a substituição da peça por um sensor da marca DRUCK, modelo PTX 1830, o qual se manteve em funcionamento desde então.

FIGURA 49 – MAU FUNCIONAMENTO DO SENSOR WL 300 – INÍCIO DA PANE

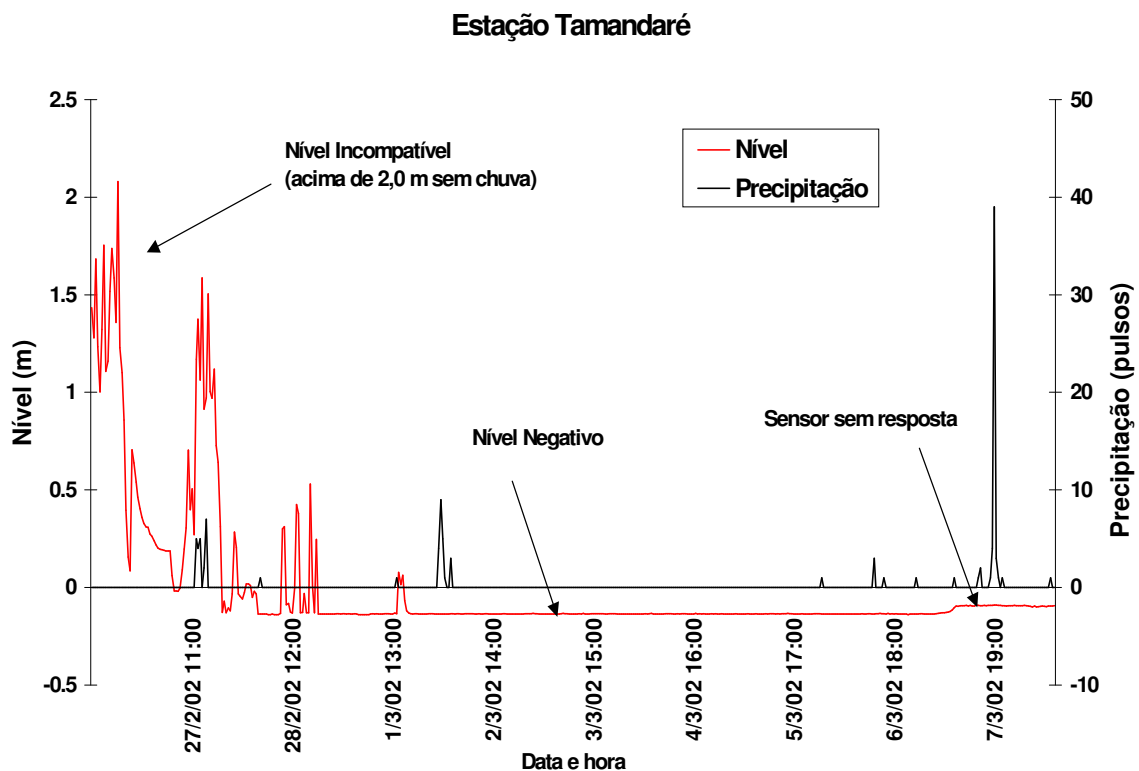
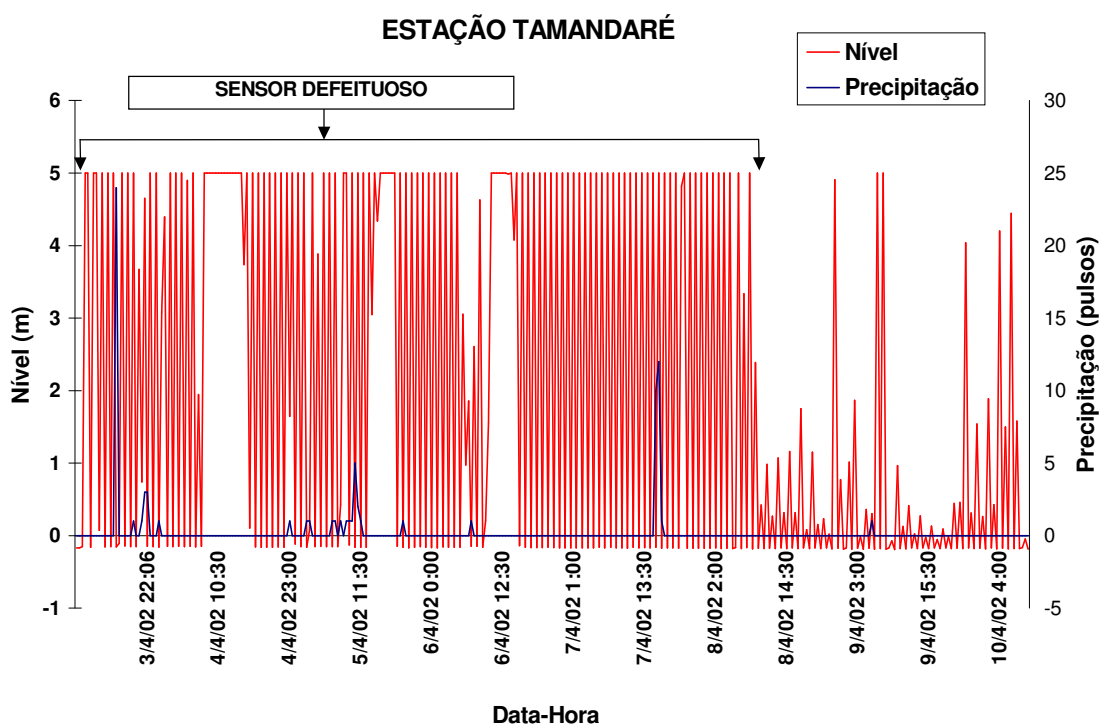
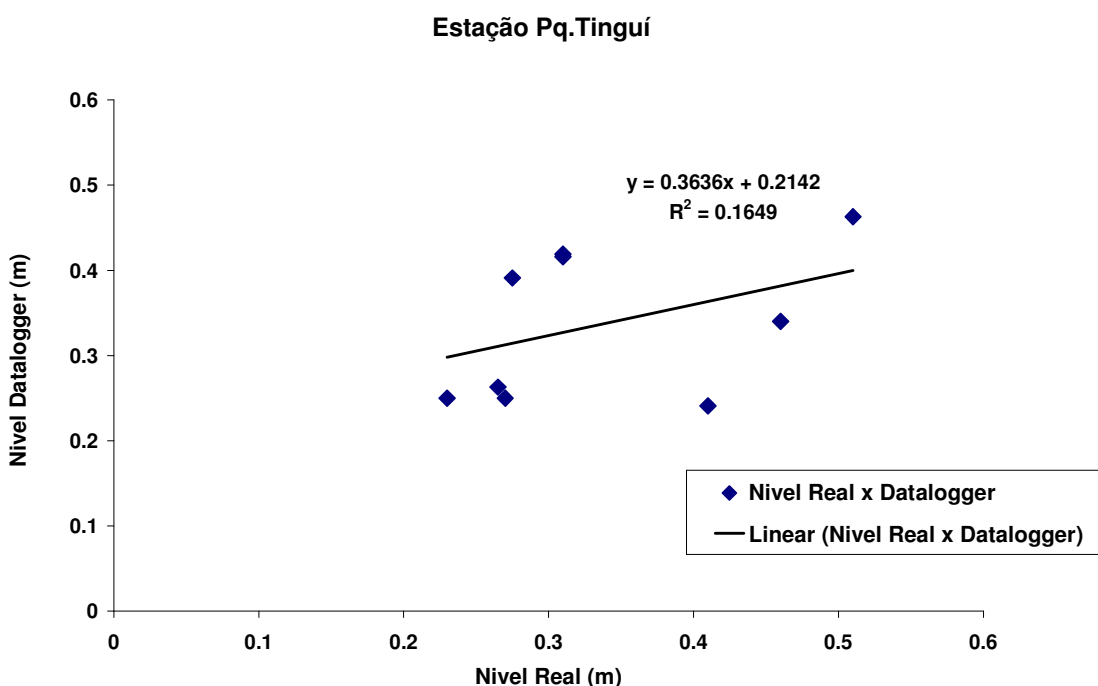


FIGURA 50 – MAU FUNCIONAMENTO DO SENSOR WL 300 – PANE TOTAL



- b) duas outras unidades não puderam ser lidas em virtude de panes gerais nas estações Piá Ambiental e Parque Barigüi.
- c) a última peça, que permaneceu em funcionamento na estação Parque Tingüí, apresentou sinais claros de mal-funcionamento, pois foram detectados erros substanciais nas leituras de nível registradas pela estação quando comparadas aos valores reais, lidos visualmente na régua da estação. Os resultados podem ser observados, de maneira sintética na Figura 51.

FIGURA 51 – MAU FUNCIONAMENTO DO SENSOR WL 300 – RESPOSTA INADEQUADA NA ESTAÇÃO PARQUE TINGÜÍ



Para tentar acessar os motivos dos problemas relatados, foram realizados ensaios iniciais nas duas peças que foram removidas das estações.

Imediatamente foi percebido que a peça que havia sido removida da estação Tamandaré estava definitivamente danificada, pois a corrente de resposta esperada simplesmente não existia.

O sensor proveniente da estação Parque Barigüi apresentava resposta compatível com o funcionamento, mas a variação dessa última, quando o sensor era mergulhado em até 60 centímetros, apresentava-se aquém do valor esperado.

O modelo em estudo é dimensionado para medir profundidades de 0 a 10 metros de lâmina d'água. Como a corrente da resposta deveria variar entre 4 e 20 mA, esperava-se uma variação de cerca de 1 mA para os 60 centímetros de profundidade. Os valores registrados ficaram entre 4,75 para o sensor no ar e 4,80 mA para o sensor mergulhado – uma variação de apenas 0,05 mA.

Embora a resposta estivesse muito abaixo do esperado havia indicação consistente de que o sensor conseguia perceber alguma pressão. Decidiu-se então, sacrificar a peça retirada da estação Tamandaré, tecnicamente morta, para que se pudesse observar a arquitetura interna do sensor, o que foi feito, primeiramente, pela remoção da tela de proteção que protege a cabeça do sensor.

Uma vez removida a tela metálica, foi observado que existe um pequeno canal de acesso, com cerca de 2,5 mm de diâmetro e 9 mm de comprimento, o qual serve de comunicação para a área interna do sensor.

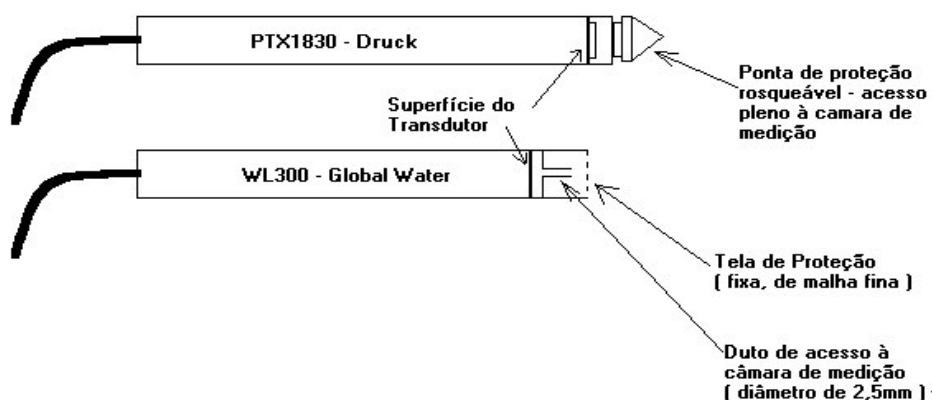
Levantou-se a hipótese de que esse canal estivesse entupido por sedimentos no sensor que ainda apresentava sinais de atividade, o que foi comprovado quando se procedeu a remoção da tela metálica do sensor da estação Parque Barigüi. Havia um grande acúmulo de sedimentos depositado na área interna do sensor, que bloqueava o acesso ao duto que conduz à superfície em que é feita a medição.

A presença de sedimentos na parte interna da peça demonstra claramente que a tela de metálica não oferece proteção suficiente, e que esse modelo de sensor pode ser danificado pela oclusão interna por deposição de sedimentos finos.

Comparando-se a arquitetura interna do sensor WL 300 com a do sensor PTX 1830, que foi utilizado como peça de reposição na estação Tamandaré, podemos observar melhores os motivos pelos quais o segundo é melhor avaliado por alguns operadores. A diferença construtiva é significativa, como pode ser observado na Figura 52.



FIGURA 52 – ESQUEMA DE CONSTRUÇÃO DOS SENSORES DE NÍVEL



A remoção da sujeira é possível no sensor modelo PTX1830, pois esse é dotado de uma cabeça rosqueável, a qual protege a ponta da peça. Basta que se faça a remoção daquela parte móvel para que se tenha acesso pleno ao transdutor. Não existe duto de acesso. O diâmetro do acesso é o mesmo do transdutor (aproximadamente 12mm), facilitando a remoção de qualquer material que por ventura se aloje sobre a superfície do sensor (Figura 53)

FIGURA 53 – DETALHE DO SENSOR PTX1830



No caso do sensor WL 300, foi necessária a retirada da tela de proteção para que se pudesse remover os detritos acumulados. Esse procedimento não pode ser revertido, pois a tela é engastada em um anel de borracha fixo, sendo necessário que se destrua o segundo para que se faça a remoção da primeira. Entretanto, o procedimento teve sucesso, pois a limpeza interna fez recuperar a capacidade operativa do sensor, o qual passou a apresentar correntes de resposta mais compatíveis com as profundidades aproximadas em que o sensor foi mergulhado (Figura 54).

FIGURA 54 – DETALHE DO SENSOR WL300



Em seguida, o sensor foi submetido ao procedimento de calibração, utilizando-se a mesma sistemática descrita para o sensor de temperatura. Decidiu-se, inicialmente, calibrar o sensor para pequenas lâminas d'água, o que é mais facilmente executável em um ambiente de laboratório.

A peça foi colocada em um recipiente no qual podia ser mergulhada em até 65 cm de coluna de água. Valores da corrente de resposta foram medidos com o mili-amperímetro, a partir do que foi construída uma equação de transferência, que foi posteriormente refinada analisando-se o seu desempenho no datalogger.

Como descrito anteriormente, o processo de refinamento da equação de transferência só é interrompido quando as diferenças apresentadas entre os valores medidos e os registrados pelo *datalogger* forem insignificantes.

Portanto, foi com uma certa surpresa que, na seqüência dos ensaios, quando se supunha calibrada a equação de transferência para o sensor WL 300, foram observados desvios significativos nos registros.

O procedimento de calibração foi totalmente repetido, sendo produzida e testada uma nova equação de transferência. Entretanto, voltou-se a observar erros na medição registrada também com a nova equação. Para ilustrar o problema observado, dois conjuntos de dados registrados e as equações de transferência que os geraram são apresentados na Tabela 8

TABELA 8 – RESULTADOS DE DUAS TENTATIVAS DE CALIBRAÇÃO PARA O SENSOR WL 300

NIVEL REAL (cm)	EQUAÇÃO 1		EQUAÇÃO 2	
	$Y = (236.31 * V) - 116.98$		$Y = (232.82 * V) - 117.2$	
	MEDIDA NO DIA (cm)	MEDIDA POSTERIOR (cm)	MEDIDA NO DIA (cm)	MEDIDA POSTERIOR (cm)
60,0	60.1	63.1	60.2	59.1
40.0	40.1	42.6	40.0	39.2
19.5	19.5	21.7	19.5	18.6

Pode-se observar que as constantes das equações de transferência são significativamente diferentes. Como o procedimento de calibração que resultou em ambas as equações foi rigorosamente o mesmo, buscou-se encontrar um motivo plausível para as alterações observadas.

Como os ensaios foram realizados no outono, estação do ano em que ocorrem grandes variações de temperatura em Curitiba, resolveu-se investigar a possibilidade da temperatura da água estar influenciando as medidas e, portanto, afetando a estabilidade da calibração.

Foi lembrado que a primeira equação de transferência foi produzida numa sexta feira relativamente fria, e que o teste posterior ocorreu em uma segunda feira em que a temperatura era bem superior. Ainda no mesmo dia foi produzida a

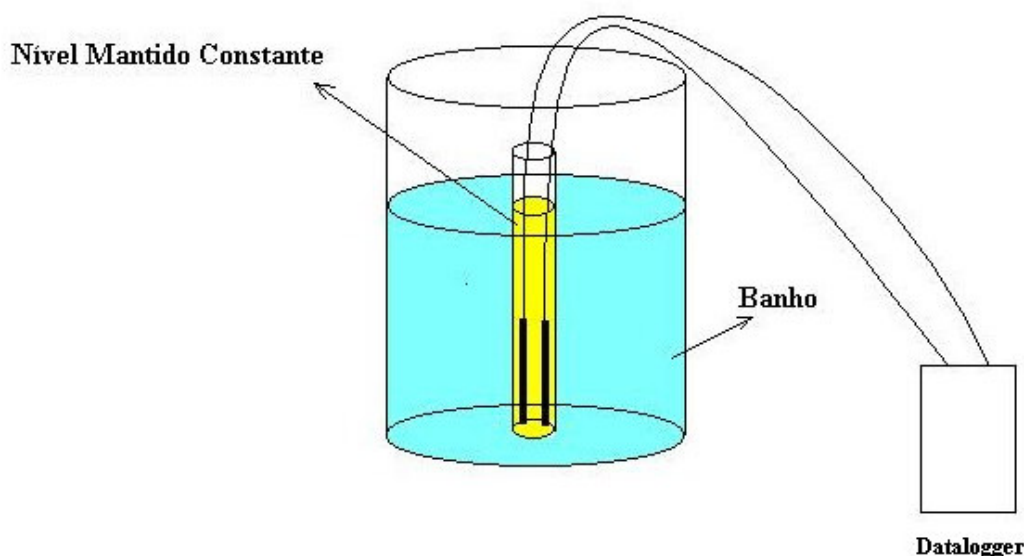
segunda equação de transferência, sendo que o teste de verificação ocorreu no dia seguinte, quando a temperatura era, novamente, mais amena.

A temperatura é um dos fatores capazes de alterar o ganho dos amplificadores eletrônicos. Circuitos de precisão, como os dos medidores de qualquer tipo, precisam ser termicamente compensados de modo a evitar perturbações nas medidas. Como a temperatura em que os ensaios foram efetuados não foi registrada, imaginou-se um experimento estático simples, o qual foi realizado para dirimir quaisquer dúvidas sobre a possibilidade da temperatura estar influenciando as medidas produzidas pelo sensor WL300.

### 5.3.1 – Avaliação do impacto da temperatura no sensor de nível WL300

O sensor WL300 foi colocado dentro de um recipiente de vidro (proveta de 500 ml) mergulhado em água numa profundidade constante de 20 cm. O conjunto foi mergulhado em um recipiente maior, para que a temperatura pudesse ser alterada através da adição de gelo sem que o nível da proveta fosse alterado. O sensor de temperatura WQ101 foi utilizado para o acompanhamento da temperatura do líquido contido na proveta. O esquema pode ser observado na Figura 55.

FIGURA 55 – ESQUEMA DO TESTE ESTÁTICO DOS SENSORES DE NÍVEL



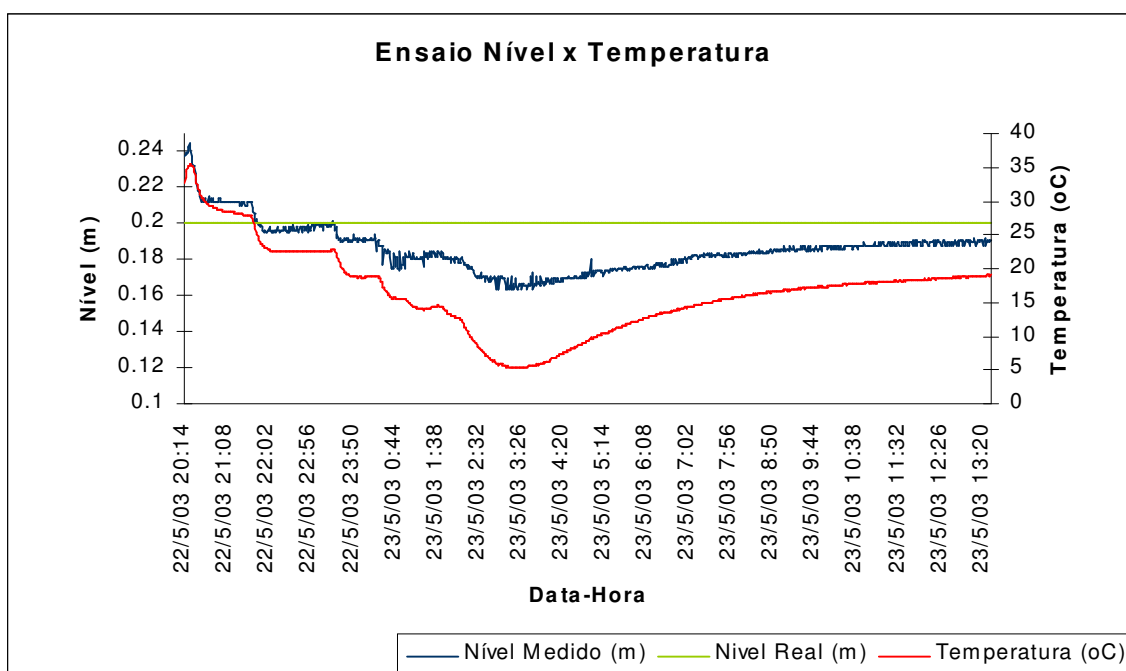
O *datalogger* foi programado para registrar leituras de 30 em 30 segundos, e o ensaio foi feito baixando-se a temperatura da água com adição de gelo no recipiente externo, de modo a promover a alteração da temperatura do recipiente em que o sensor estava imerso, sem alterar o nível.

A temperatura do dia em que esse ensaio foi realizado era alta (próxima de 30°C). A temperatura da água estava próxima de 22°C. Nessa temperatura, a leitura do sensor de nível era correta (20 cm), posto ter sido realizada uma nova a calibração do sensor poucos momentos antes desse teste, utilizando-se água na mesma temperatura (22°C).

Primeiramente, a temperatura da água foi elevada até 34°C, através de adição de água morna. Em seguida, passou-se à adição de gelo, até que a temperatura da água da contida na proveta atingisse 5,6°C. Depois disso, o conjunto foi deixado quieto para que a temperatura fosse recuperada até a ambiente.

Os resultados obtidos, apresentados na Figura 56, demonstram que as leituras produzidas pelo sensor WL 300, variaram de 16,3 até 24,2 cm para as temperaturas mínima e máxima, respectivamente, o que explicou claramente as diferenças nas equações de transferência que tinham sido produzidas nas tentativas de calibração – feitas em dias diferentes e em temperaturas diferentes.

FIGURA 56 – ENSAIO ESTÁTICO DE NÍVEL COM VARIAÇÃO DE TEMPERATURA



Como pode ser observado, a leitura do nível produzida pelo sensor é influenciada pela temperatura e acompanha claramente a sua variação. Teoricamente os circuitos de compensação dos sensores deveriam ser eficientes para compensar possíveis alterações causadas pela temperatura de trabalho mas, como ficou comprovado, é necessário verificar a possibilidade de existência de alterações não compensadas.

Decidiu-se então pela repetição do teste, ampliando o escopo da pesquisa para que se pudesse comparar o desempenho dos dois modelos de sensores disponíveis, WL-300 e PTX-1830, partindo da calibração de ambas as peças em uma mesma temperatura, a qual foi escolhida para ser 18°C por estar dentro da faixa de normalidade para águas correntes e lacustres e por ser a temperatura mais fácil de ser mantida no dia em que a calibração foi feita.

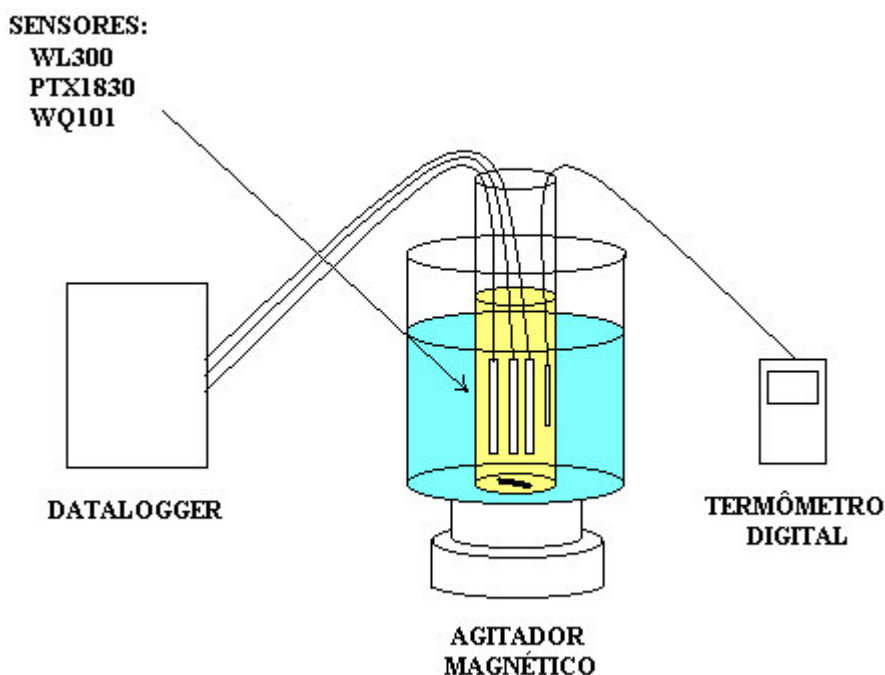
Após o procedimento de calibração, as equações 6 e 7 foram obtidas para os sensores da Global Water e Druck, respectivamente.

$$h = 2.2775 * V - 1.1157 \quad (\text{WL300 – Global Water}) \quad (6)$$

$$h = 5.0302 * V - 2.6564 \quad (\text{PTX 1830 – Druck}) \quad (7)$$

Um esquema do teste, novamente realizado em nível constante, pode ser observado na Figura 57. Foram utilizadas uma proveta de 500 ml, e um recipiente maior, também contendo água, o qual foi utilizado para alterar a temperatura da água da proveta sem perturbar o nível desta. Um agitador magnético foi utilizado, em velocidade baixa (30 rpm aproximadamente), para evitar a formação de gradientes de temperatura.

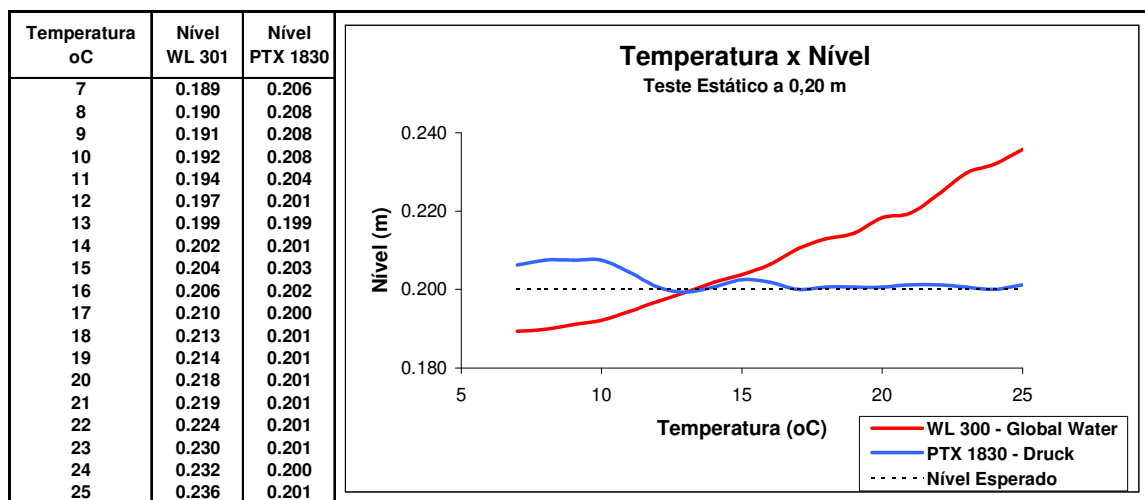
FIGURA 57 – ESQUEMA DO TESTE ESTÁTICO DA VARIAÇÃO DA LEITURA DE NÍVEL  
PROVOCADA PELA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA



O monitoramento da temperatura foi feito através do sensor de temperatura – modelo WQ101. A verificação em tempo real foi feita através da função de temperatura do medidor de condutividade Modelo Handylab LF1 marca SCHOTT. Não houve necessidade de registro pois não foi observada qualquer diferença entre os valores lidos no *datalogger* e os produzidos com auxílio do medidor manual.

Variando-se a temperatura da água do recipiente maior, gradativamente o calor passava pelas paredes da proveta, alterando também a temperatura da água por ela contida. O nível de água na proveta foi mantido em constante. O sensor Druck foi fixado a 20 cm da superfície. Por motivos de fixação, o sensor da Global Water foi fixado a 21.3 cm da superfície e a temperatura do foi variada de 7 a 25 graus Celsius. O resultado pode ser conferido na Figura 58.

FIGURA 58 – VARIAÇÃO DE NÍVEL REGISTRADA EM TESTE ESTÁTICO



Conforme esperado, o sensor PTX 1830 continuou informando, com pequenas variações, a profundidade correta. Entretanto, esse não foi o caso do sensor WL300, cuja leitura variou perceptivelmente com a temperatura.

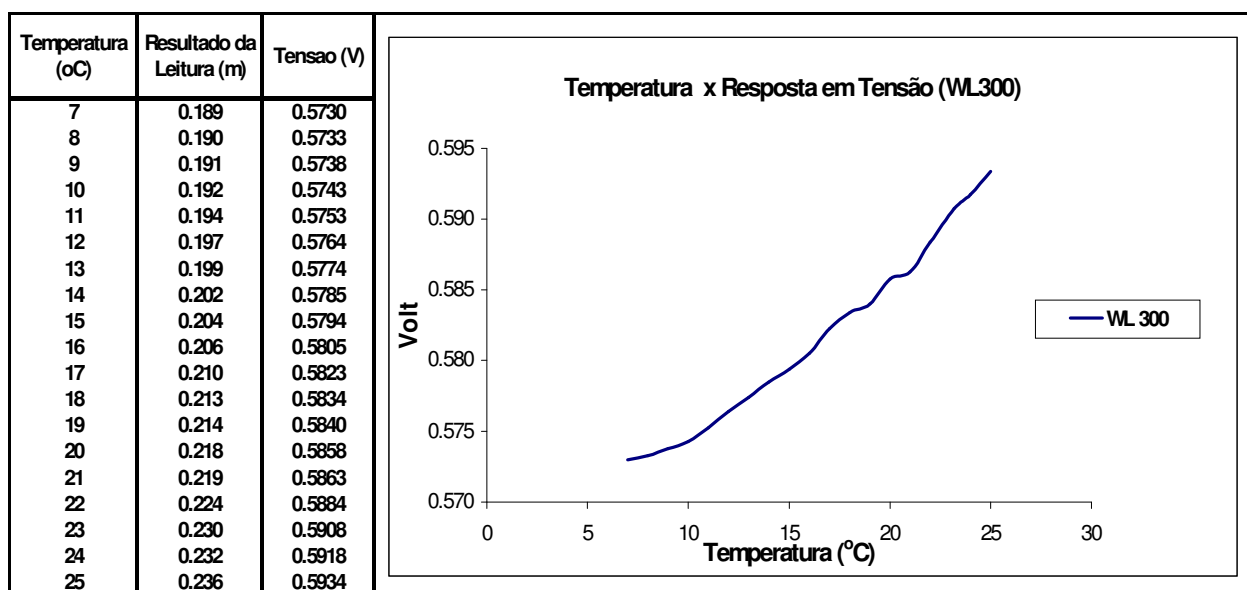
Como pode ser observado na Figura 58, a leitura do sensor WL300 variou significativamente. Mantido em 20 cm de profundidade, informou profundidades que chegaram, aproximadamente, a 19 e 24 cm para temperaturas baixas e altas, respectivamente. O erro máximo observado ficou em 20% para a temperatura de 25°C.

A mesma figura permite observar que a amplitude do erro tende a aumentar com a temperatura. Em decorrência desses resultados, se decidiu propor a utilização de uma função de compensação térmica, a qual pudesse ajustar as medidas produzidas pelo sensor WL300, compensando o efeito da temperatura.

Para atingir tal objetivo, foi revertida a informação de nível para a tensão em Volts produzida pelo sensor, utilizando-se a função de transferência (4). Os dados produzidos podem ser observados na Figura 59.



FIGURA 59 – VARIAÇÃO DA RESPOSTA EM VOLTS, PRODUZIDA PELO DO SENSOR WL301, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA



Tomando-se por referência a temperatura na qual o sensor foi calibrado, a resposta correta do sensor para o nível medido deveria constante, por volta de 0,5834V.

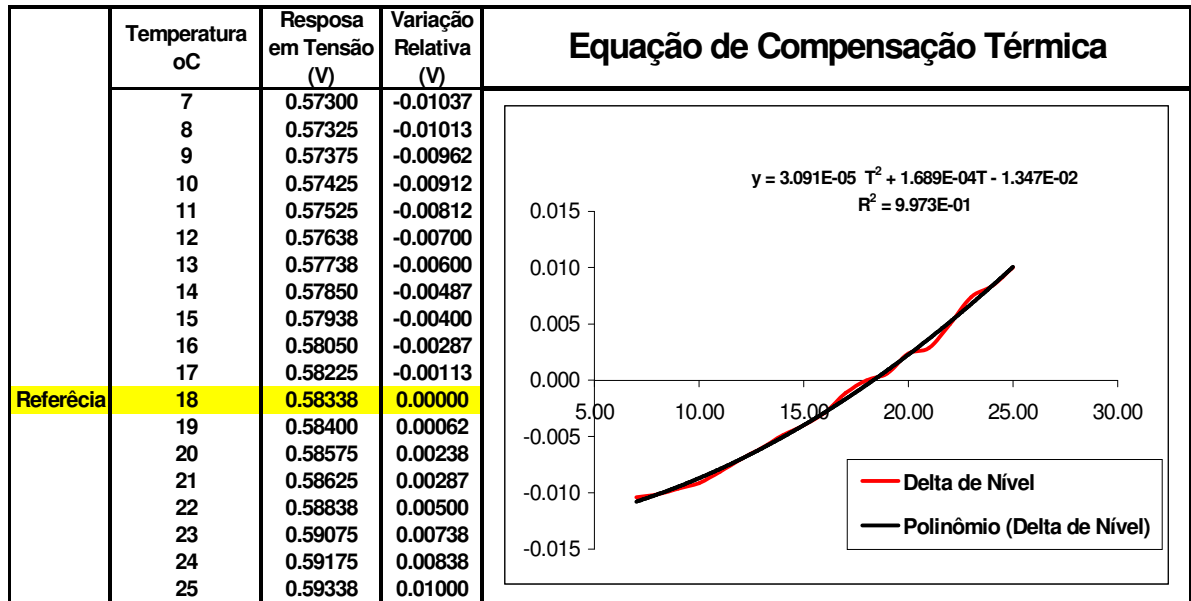
Em casos de temperaturas mais altas, a função precisaria compensar o aumento da tensão de resposta do sensor, produzindo uma redução na leitura de nível.

O oposto precisaria ocorrer quando, em temperaturas mais baixas que a utilizada para a calibração, ou seja, a função precisaria aumentar a leitura, compensando a redução da resposta de tensão do sensor.

Preferiu-se fazer essa compensação em nível de tensão, para poder ter pontos de referência mais facilmente identificáveis, utilizando a informação primordial produzida pelo sensor.

Para tal, foram calculadas as diferenças em relação à informação para a qual o sensor foi calibrado, sendo ajustado um polinômio de 2º grau por sobre os dados obtidos, o que pode ser observado na Figura 60.

FIGURA 60 – CÁLCULO DA EQUAÇÃO DE COMPENSAÇÃO TÉRMICA PARA O SENSOR WL300



A Equação 6, obtida pelo ajuste do polinômio, fornece a quantidade de tensão a ser reduzida da informação produzida pelo sensor, para a profundidade de 0,213m.

$$Y = 3.091 \times 10^{-5} T^2 + 1.689 \times 10^{-4} T - 1.347 \times 10^{-2} \quad (8)$$

### 5.3.2 – Avaliação dos erros

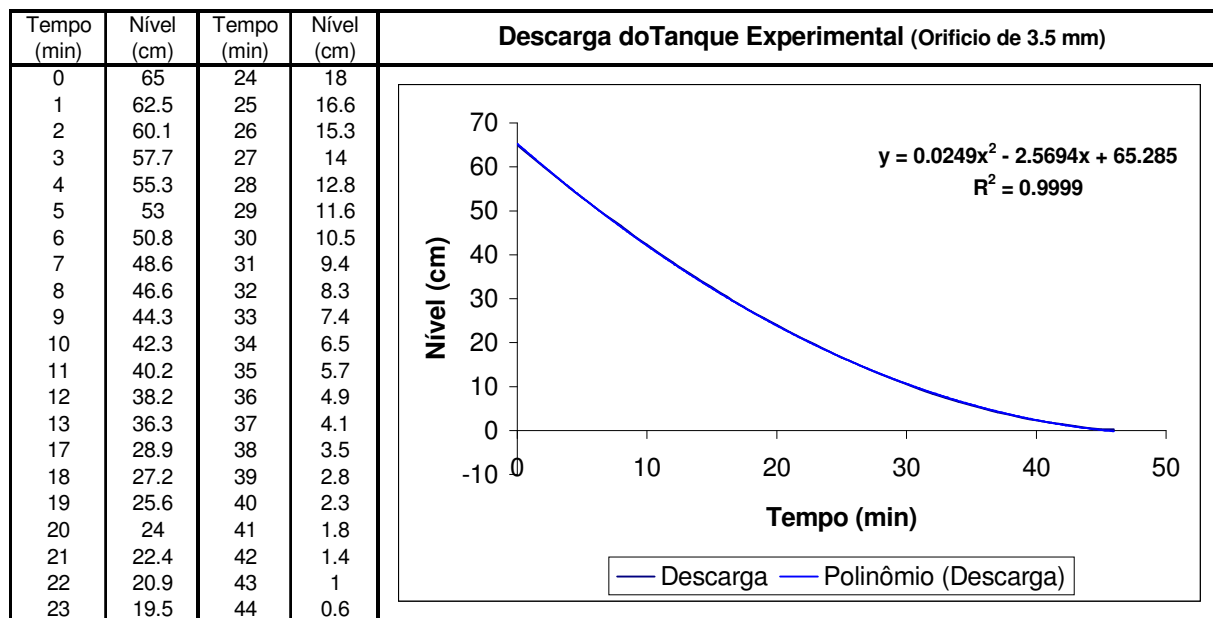
A etapa seguinte foi testar a eficiência dessa função para outras profundidades, aproveitando-se para comparar os resultados obtidos com os produzidos pelo sensor PTX 1830, que é menos suscetível aos efeitos da temperatura do meio.

Para tal, foi utilizado um pequeno tanque cilíndrico, com diâmetro interno de 40 cm e altura de 72 cm, no qual foi feita uma conexão para que se pudesse adaptar tampas com orifícios de diâmetros conhecidos, que pudessem proporcionar o esvaziamento controlado do tanque.

Uma régua graduada foi fixada ao tanque e, após alguns testes iniciais, decidiu-se pela utilização de um orifício de 3,5 mm, em virtude do tempo de esvaziamento ser mais alongado e, por conseqüência, mais facilmente controlável, mas não excessivamente lento.

A curva de descarga do equipamento foi produzida por experimentos práticos e pode ser observada na Figura 61.

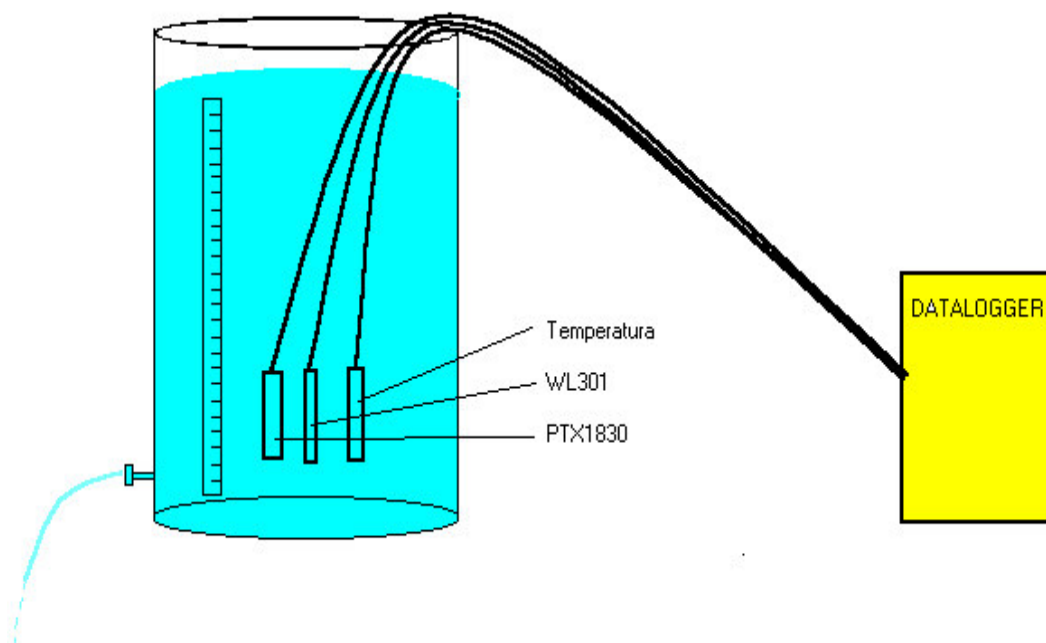
FIGURA 61 – DESCARGA DO TANQUE EXPERIMENTAL



Com a curva de descarga levantada, foi possível realizar testes comparando as leituras dos sensores WL 300 e PTX 1830 em uma situação dinâmica e em temperaturas diferentes.

O tanque foi nivelado, os sensores fixados e conectados ao datalogger, sendo adicionado o sensor de temperatura – WQ101, e ainda o condutivímetro Schott, cuja função de termômetro de precisão foi utilizada para verificar a medida produzida pelo sensor WQ101. O esquema dos testes pode ser observado na Figura 62.

FIGURA 62: ESQUEMA DOS TESTES DINÂMICOS



Nesse teste dinâmico, foi observado novamente que a resposta do sensor Druck é mais precisa, sendo também confirmado que a informação produzida pelo sensor da Global Water é influenciada pela temperatura da água.

Foi ainda demonstrado que a aplicação da função de correção térmica sobre as leituras do sensor WL300 pode fazer com que os dados produzidos por esse modelo de sensor sejam corrigidos de forma a reduzir substancialmente o erro térmico, o que pode ser observado na Tabela 9.

TABELA 9 – RESULTADOS DOS TESTES DINÂMICOS

RESULTADO DE TESTES DINÂMICOS – TEMPERATURA DE REFERÊNCIA = 18°C										
		TEMPERATURA = 22.3°C			TEMPERATURA = 8.5 °C			TEMPERATURA = 14.7 C		
Tempo (min)	Nível Real (cm)	Leitura Druck (cm)	Leitura Global (cm)	Global Corrigida (cm)	Leitura Druck (cm)	Leitura Global (cm)	Global Corrigida (cm)	Leitura Druck (cm)	Leitura Global (cm)	Global Corrigida (cm)
2	60.1	60.1	62.3	61.0	60.1	57.6	59.9	59.8	58.3	59.3
5	53	54	55.3	54.0	54.0	50.3	52.5	54.0	51.4	52.3
8	46.6	46.6	48.4	47.1	46.6	43.5	45.7	46.6	45.0	46.0
11	40.2	40.2	42.3	41.0	40.6	37.5	39.8	40.0	38.6	39.6
14	34.2	34.1	36.4	35.1	34.6	31.6	33.8	34.6	32.9	33.9
17	28.9	28.7	30.8	29.5	28.8	26.3	28.6	28.7	27.7	28.7
20	24	23.4	26.0	24.7	23.7	20.9	23.2	23.7	22.7	23.7
23	19.5	18.7	21.2	19.9	18.7	16.4	18.6	18.7	18.2	19.2
26	15.3	15.2	17.2	15.9	14.5	12.2	14.4	15.2	13.9	14.8
29	11.6	11.1	13.3	11.9	11.1	9.0	11.2	11.4	10.3	11.3
32	8.3	7.4	10.3	9.0	7.1	5.5	7.7	8.0	6.9	7.9
35	5.7	5.1	7.6	6.3	4.6	2.9	5.2	5.5	4.6	5.6
38	3.5	2.7	5.5	4.2	2.1	1.1	3.3	3.6	2.4	3.4
41	1.8	1.5	4.2	2.9	0.8	-0.5	1.8	1.5	1.1	2.1
44	0.6	0.5	3.1	1.8	-0.4	-1.6	0.7	1.1	0.0	1.0

Expressando os resultados da Tabela 9 em termos de erros relativos, é possível construir gráficos nos quais se pode observar mais detalhadamente o desempenho do sensor WL300, a influência da temperatura sobre sua resposta e a eficiência da função de correção térmica, a qual foi aplicada para corrigir os valores dos três ensaios apresentados. As Figuras 63, 64 e 65 apresentam os erros relativos para os dois sensores nas três temperaturas ensaiadas.

FIGURA 63 – ERRO RELATIVO EM ENSAIO DINÂMICO REALIZADO A 22 °C

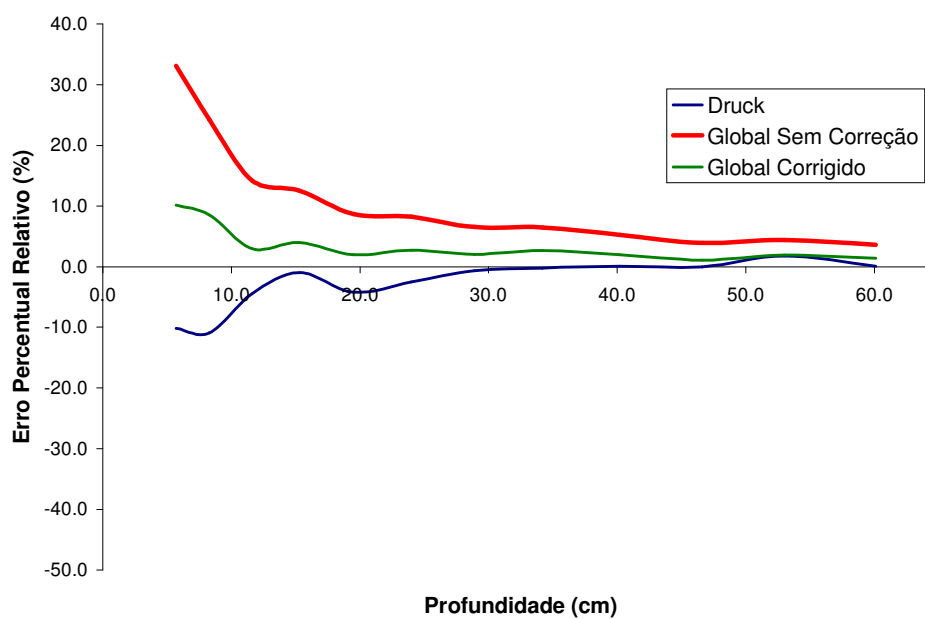


FIGURA 64 – ERRO RELATIVO EM ENSAIO DINÂMICO REALIZADO A 8,5 °C

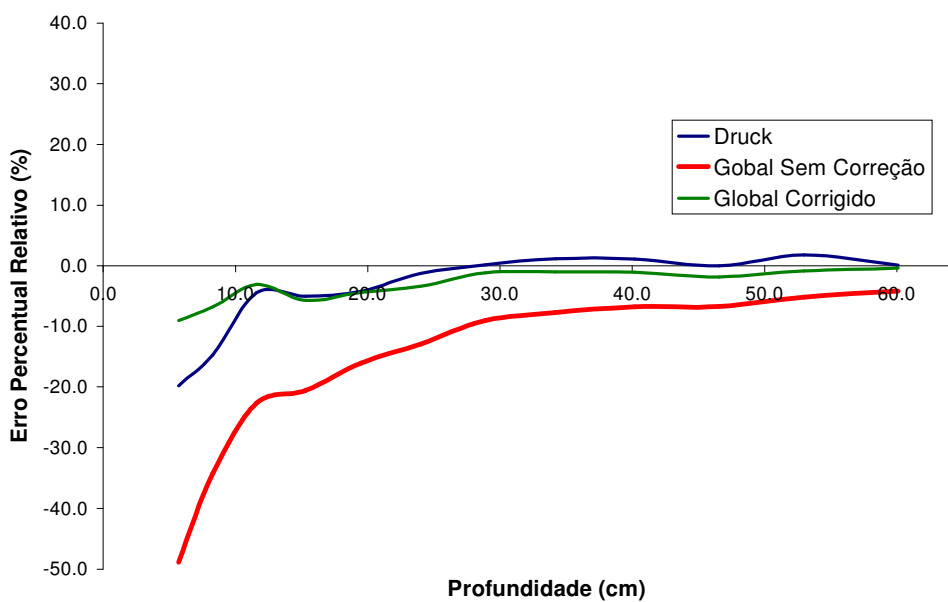
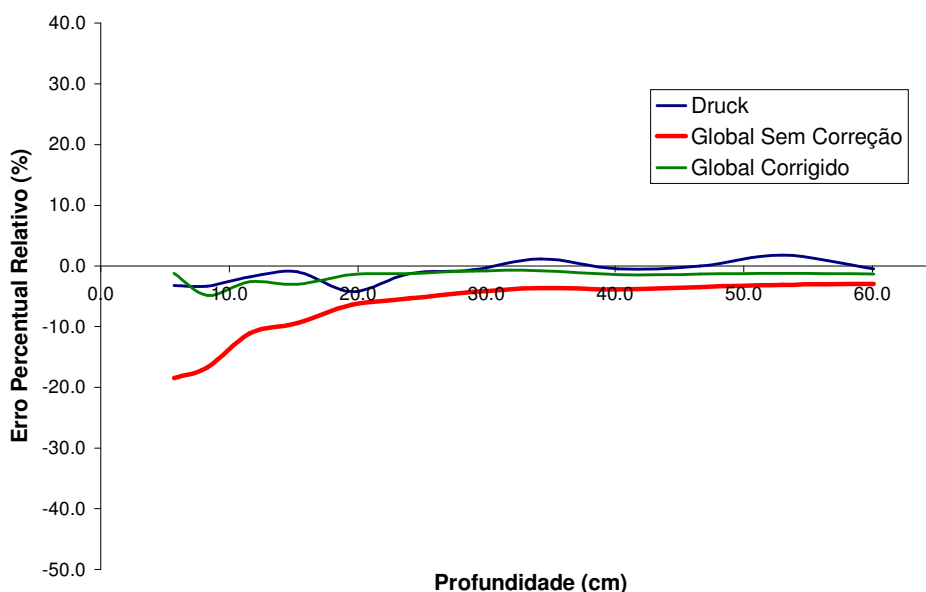


FIGURA 65 – ERRO RELATIVO EM ENSAIO DINÂMICO REALIZADO A 14,7 °C



Como se pode observar, as leituras do WL 300 ficam acima ou abaixo do resultado esperado quando a temperatura da água é superior ou inferior a 18°C, que é a temperatura em que os sensores foram calibrados.

A faixa de variação, nas profundidades ensaiadas, fica em torno de 5,0 cm para a maior diferença (entre 8°C e 22°C) e, poderia significar um erro considerável, especialmente se a equação de transferência for corrigida para ajustar a leitura do equipamento à da régua em algum momento em que a temperatura for mais extremada, tanto baixa quanto elevada.

Em um dia de calor, em que a temperatura da água estivesse em 22°C, por exemplo, a leitura do *datalogger* estaria 2 cm acima da leitura da régua. Se a equação de transferência fosse corrigida para eliminar a diferença e o ajuste mantido até o inverno, a medida de nível poderia ser subestimada em mais de 5,0 centímetros caso a temperatura da água chegasse a baixar para 8°C.

Por outro lado, caso fosse adotada o uso da equação de compensação térmica, é provável que fosse possível operar sensores do modelo WL 300 mantendo os erros próximos aos que se observa em sensores PTX 1830, desde que fossem adotadas algumas medidas de proteção para evitar a deposição de sedimentos na parte interna do sensor.

Para evitar esse tipo de problema, a instalação dos sensores deve ser sempre feita na vertical, pois dessa forma a possibilidade de acúmulo de resíduos diminui consideravelmente.

Outra medida importante seria a adaptação de um sistema de proteção para a ponta do sensor, o que pode ser facilmente produzido com o uso de tubos e conexões de PVC .

Como a diferença de preço entre os dois modelos sensores é substancial, sendo o sensor da marca Druck pelo menos duas vezes mais caro que o da Global Water, pode ser importante o aprimoramento de técnicas que evitem tanto os erros de medida quanto os problemas operacionais a que a segunda peça é mais sujeita.

#### 5.4 PERFORMANCE DE SENSORES DE NÍVEL EM PROFUNDIDADES MAIORES

Ao final dos experimentos compreendidos nesse trabalho, o CEHPAR, órgão patrocinador desse estudo, solicitou que fosse calibrado um sensor DRUCK modelo PTX 1830, para utilização em um local em que a profundidade poderia atingir mais de três metros,. O sensor seria instalado em uma estação dotada de *datalogger* da marca Global Water, modelo GL 400-II, caso ficasse comprovada a possibilidade de utilização dessa última, posto existirem dúvidas sobre sua capacidade operacional.

Entretanto, em decorrência da solicitação do CEHPAR, foi construído um equipamento capaz de simular profundidades de até 6,0 metros, o qual, tendo sido testado e aprovado para a calibração do sensor PTX1830, foi aproveitado para a realização de um último teste com o sensor WL300.

Utilizou-se, para a construção do equipamento, uma barra de tubo de PVC branco, do tipo esgoto, algumas conexões, alguns metros de mangueira plástica transparente, borrachas de apagar lápis do tipo “TKPLAST” grande, válvulas solenóides padrão para máquinas de lavar roupas domésticas, uma bomba de água também proveniente de lavadoras, chaves e fios elétricos.

Optou-se pela utilização de comandos elétricos para admissão e liberação de água, para que fosse possível ao operador ajustar exatamente a profundidade desejada. Uma conexão simples foi desenvolvida para adaptar-se a sensores de qualquer diâmetro, a coluna foi marcada em centímetros, sendo a mangueira



transparente utilizada para aferir o nível desejado. Detalhes do equipamento e seu esquema construtivo podem ser vistos nas Figura 66, 67, 68 e 69

FIGURA 66 – ESQUEMA CONSTRUTIVO DA COLUNA PARA CALIBRAÇÃO DE SENSORES DE NÍVEL

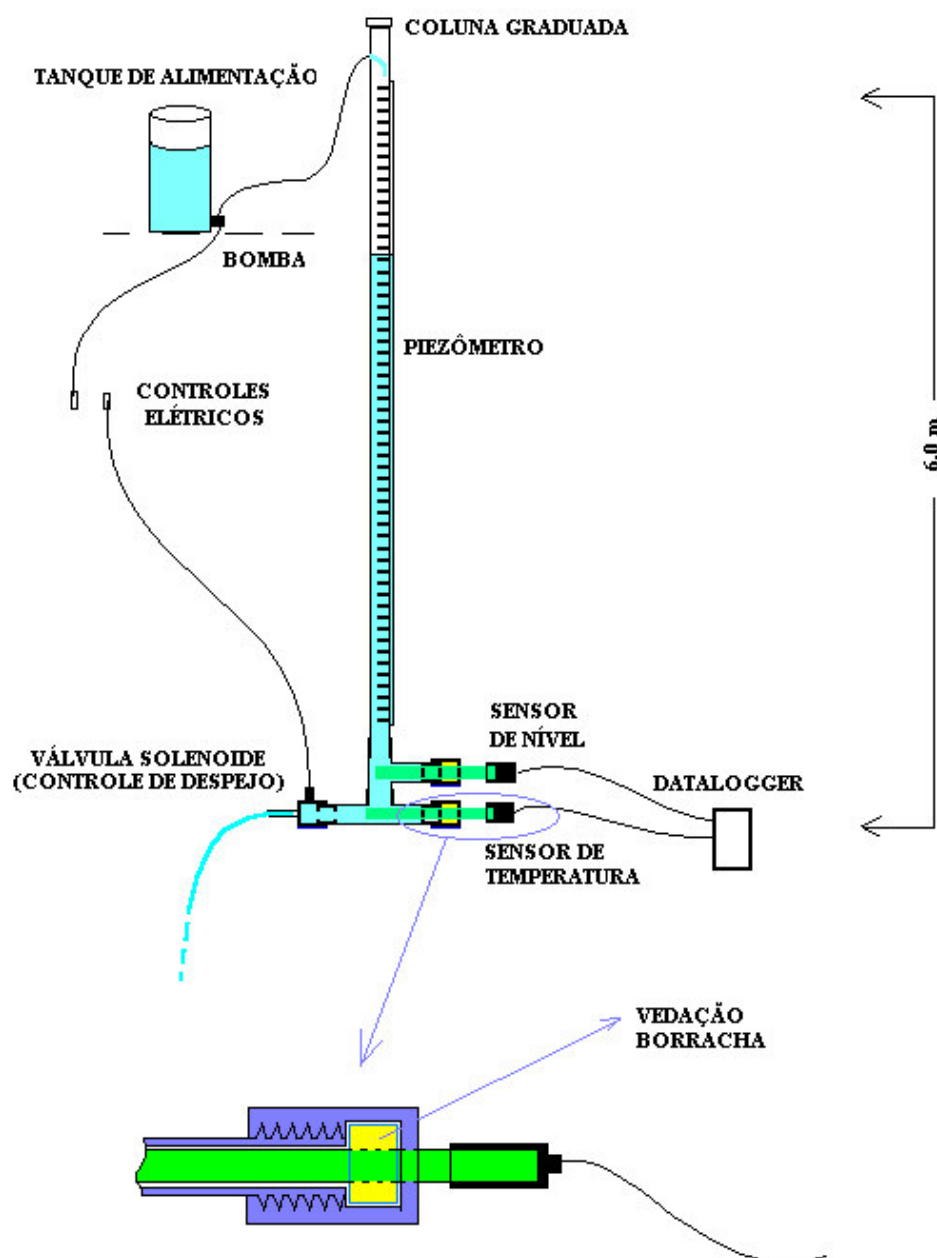


FIGURA 67 – COLUNA DE CALIBRAÇÃO DE SENSORES DE NÍVEL



FIGURA 68 – DETALHE DA COLUNA DE CALIBRAÇÃO PARA SENSORES DE NÍVEL



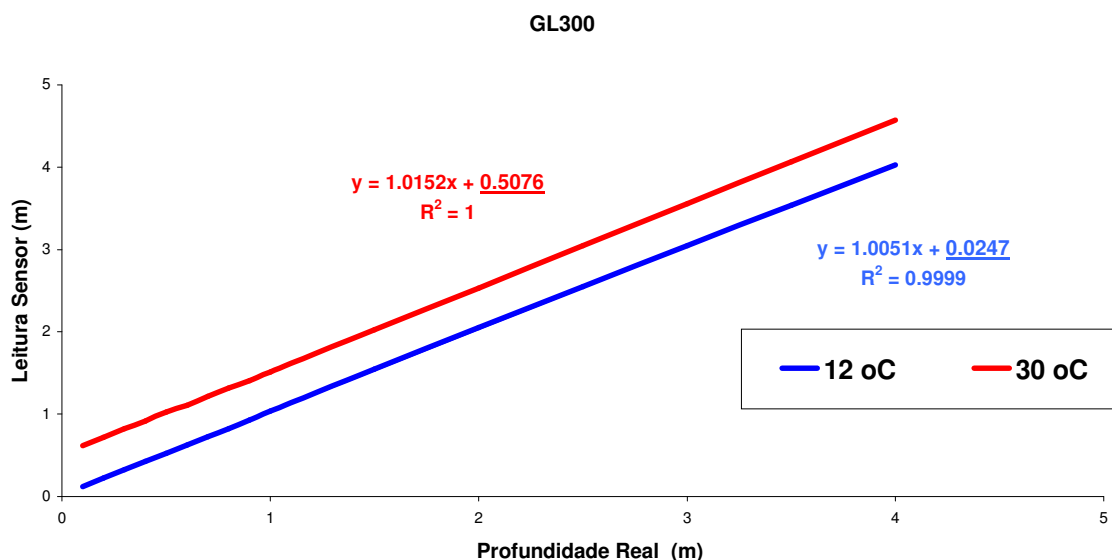
FIGURA 69 – DETALHE DO TOPO DA COLUNA DE CALIBRAÇÃO PARA SENSORES DE NÍVEL



A utilização de um sistema de bombeamento ao invés da admissão simples de água encanada pressurizada, permitiu que fossem realizados ensaios com líquido em temperaturas diferentes. Infelizmente, o equipamento, por ter sido montado em local aberto e não protegido termicamente, não é totalmente apropriado para ensaios que visem comparar o desempenho dos sensores quando expostos a temperaturas diferentes. Entretanto, os resultados obtidos são suficientes para comprovar a influência da temperatura da água em medições de profundidades maiores.

Na Figura 70 são apresentados os resultados das medições efetuadas tanto com o sensor estudado – WL300, para 13°C e 30°C, aproximadamente. Como pode ser observado, houve um deslocamento de cerca de 50 cm na resposta do sensor, em temperaturas da faixa de 30°C, quando comparada à resposta obtida para 13°C. Os valores foram obtidos utilizando-se a equação de calibração para 18°C do experimento anterior (Equação 4).

FIGURA 70 – SENSOR WL 300 EM PROFUNDIDADES MAIORES



Observando os resultados, pode-se perceber que o sensor apresenta comportamento diferente do esperado, pois mesmo para 13°C, as medidas produzidas foram ligeiramente superiores aos valores reais, quando se esperava

que esses fossem um pouco inferiores, devido à temperatura ser mais baixa que a utilizada na calibração.

Outra modificação, bem mais significativa, é a grande diferença observada nas medidas produzidas com água a 30 °C, bem superior ao valor que era esperado tomando-se por base os experimentos anteriores. O valor do erro, próximo a 50 cm, aponta para uma variação da resposta da ordem de 0,20 V, enquanto que nos ensaios realizados anteriormente, tal variação não passaria de 0,025V. Houve, portanto, uma alteração no comportamento do sensor, embora esse tenha ficado desligado e convenientemente guardado, em local seguro e seco, durante um período de cerca de 8 meses, decorrido entre um ensaio e outro.

Decidiu-se então por uma última repetição do ensaio, utilizando-se um sensor modelo WL301 também produzido pela Global Water, novo e sem uso, que foi disponibilizado pelo CEHPAR para esse experimento. O objetivo principal foi o de acessar o desempenho desse sensor e o de se tentar observar paralelos entre os comportamentos de ambas as peças.

Foi constatado que, embora tenham sido detectadas diferenças nas medidas, elas são pequenas, o que pode ser observado na Tabela 10.

TABELA 10 – INFLUÊNCIA TÉRMICA SOBRE O SENSOR WL 301 (SEM USO)

SENSOR DE NÍVEL WL 301 – GLOBAL WATER				
Nível Real (m)	Medida com Temperatura de 12 °C	Medida com Temperatura de 30 °C	Diferença (m)	Diferença %
4.0	3.986	4.001	0.015	0.38
3.0	2.985	3.002	0.017	0.55
2.0	1.975	1.994	0.019	0.97
1.0	0.972	0.991	0.02	2.01
0.6	0.563	0.589	0.026	4.63
0.3	0.263	0.293	0.03	11.48

O melhor desempenho da peça pode ser explicado tanto pelo fato da peça ser nova, quanto por uma melhoria no circuito eletrônico do sensor.

Como não foi possível acessar o desempenho do sensor WL300 antes de sua exposição ao meio, e como também não houve tempo para expor o sensor



WL301 e analisar seu desempenho após alguns meses de utilização em campo, não foi possível indicar qual das duas hipóteses do parágrafo anterior é mais próxima da verdade.

Somente através de uma verificação futura seria possível afirmar que o sensor WL301 é mais confiável que o WL300. Por enquanto, pode-se afirmar que o sensor WL301 apresenta, ainda antes de ser utilizado em campo, alguns sinais de influência térmica, sendo ainda possível observar que essa influência é mais significativa em profundidades menores.

## 5.5 SENSORES DE PRECIPITAÇÃO

Por ter um princípio de funcionamento mecânico simples e facilmente observável, o medidor de precipitação retirado da estação Parque Barigüi não despertou interesse inicial maior. Era pressuposto que esse tipo de equipamento não comportaria uma fonte majoritária de erros de medida. Surpreendentemente, o resultado de experimentos iniciais – realizados meramente com o intuito de verificar a performance do equipamento – foi bastante negativo, o que será mais bem relatado nas próximas páginas.

Antes, porém, é necessário relatar o que se conseguiu levantar sobre o processo de funcionamento e a performance do tipo de equipamento utilizado nas estações da BRB, os quais são conhecidos pela sua denominação em inglês “*Tipping Bucket (TB)*”.

Seu princípio de medição deriva de um equipamento totalmente mecânico inventado no século XVII (Automatic Weather Stations, 2001), que registrava o número de vezes em que a precipitação atmosférica, coletada através de um funil, conseguia preencher o volume de um dispositivo basculante. Este reservatório era concebido para desequilibrar-se quando cheio, despejando o líquido acumulado e preparando-se para um novo ciclo de acumulação. Hoje em dia, os equipamentos produzem pulsos elétricos a cada “basculada”, sendo esses pulsos são registrados em *dataloggers*, mas o princípio de despejo de líquido, em quantidades controladas, provocado pela alteração do centro de gravidade do recipiente coletor, é o mesmo.

Recentemente, em virtude da importância da utilização dos TBs nas redes automáticas de aquisição de dados pluviométricos – são equipamentos baratos e resistentes – o seu desempenho tem sido estudado de maneira mais detalhada

(Frankhauser, 1998) (Sevruk, 2002) (Srikanthan et al, 2002) (Gordon, 2003). Esse novo interesse decorre da utilização dos dados produzidos pelas redes automáticas dotadas de TBs na calibração de sistemas mais avançados de medição, como os radares meteorológicos e sistemas baseados em satélites (Habib et al, 2001).

A tentativa de refinar a calibração dos novos equipamentos, os quais podem gerar informações em tempo real, esbarra na necessidade de registros pluviométricos produzidos com base em intervalos de tempo mais curtos, pois somente dessa forma é possível aprimorar a comparação entre as precipitações médias registradas pela rede pluviométrica e os valores quase instantâneos obtidos pela interpretação das imagens de radar. Por esse motivo, alguns estudos recentes procuram acessar o desempenho dos TBs. Entre eles, ressalta-se o estudo de Ciach (2003), que procurou quantificar erros aleatórios produzidos pelos TBs.

Para cumprir esse objetivo, Ciach (2003) utilizou-se de 15 TBs do mesmo modelo, os quais foram instalados de maneira idêntica em um campo de testes localizado em no estado de Oklahoma USA, de forma que suas leituras individuais pudessem ser comparadas com a média de todas as medidas, média essa considerada pelo autor “uma boa aproximação da precipitação ocorrida”.

O esquema de coleta de informações foi baseado no registro do instante de cada basculada, sendo a precipitação média calculada individualmente para cada intervalo entre dois registros subsequêntes. Os dados obtidos foram, também, transformados em séries de pulsos (basculadas), registrados em intervalos de tempo fixos.

Os resultados das análises demonstraram que existem motivos para preocupação quanto à confiabilidade dos dados produzidos por TBs, especialmente quando se quer quantificar precipitações de pequena intensidade (menores que 10mm/h) em pequenos intervalos de tempo (abaixo de 15 minutos), dado o grau de dispersão dos valores registrados pelos equipamentos.

Em outro experimento, Habib chega a conclusão semelhante ao simular o desempenho de um TB, partindo de uma série obtida através de um medidor ótico de precipitação, de alta resolução (Habib et al, 2001).

Já Nystuen faz a comparação entre vários tipos de medidores de precipitação, comparando os resultados com um equipamento ótico de alta resolução (Nystuen, 1999). Na seção dedicada aos TBs, demonstra que esses

equipamentos apresentam tendência a subestimar medidas quando da ocorrência de precipitações mais intensas, em especial a partir de 150 mm/h.

Estudos anteriores haviam demonstrado a influência de vários fatores no processo de medição de precipitação por TBs. Tinha sido observado, por exemplo, que a ocorrência de ventos acima de 4 m/s podem produzir medidas subestimadas ao arrastar respingos para fora do funil. O mesmo efeito também pode ser produzido, em menor escala, pela formação de película d'água sobre o funil e sua conseqüente evaporação (Sevruk, 1996).

Voltando-se a Ciach, ao se referir aos erros aleatórios produzidos pelos TBs aquele pesquisador afirma que “para a maioria das séries históricas disponíveis atualmente, os erros aleatórios aqui analisados são desconhecidos e geralmente ignorados pelos usuário” (Ciach, 2003). No Brasil, talvez, essa afirmação possa ser estendida para todas as demais fontes de erros associados ao uso de TBs, mesmo quando operados em escalas de tempo de 15 ou 30 minutos.

Tal situação fica ainda mais evidente quando se observa, após leitura atenta de alguns dos manuais de equipamentos em operação, que o grau de precisão dos equipamentos é garantido apenas para precipitações menores que 1”/h (25,4 mm/h), acima do que “a unidade fará leituras inferiores, se propriamente calibrada” (Global Water RG200 Manual, 1997) (Global Water RG600 Manual, 1999)

O mesmo pode ser deduzido do processo indicado pela Campbell Scientific Inc. para “calibração em campo” dos TBs que são por ela fornecidos – recomenda-se que 1 Pint de água seja gotejado por sobre o funil do TB, fazendo-se uso de uma lata perfurada, o que deveria produzir 100 pulsos com uma variação de 3% para cima ou para baixo. O processo de gotejamento deve durar “pelo menos 45 minutos”, e há instruções expressas de que “se o volume se escoar em menos de 45 minutos, o orifício da lata é muito largo” (Campbell Scientific, 1998).

Em ambos os casos, cada pulso representa aproximadamente  $\frac{1}{4}$  de mm (0,254 mm). Nos TBs da Global Water um máximo de 100 pulsos/h representaria uma precipitação de 25,4 mm/h, enquanto para os equipamentos da Campbell Scientific, 125 pulsos representariam cerca de 32 mm/h.

Ora, na bacia experimental do rio Barigüi, em Curitiba – PR já foram registrados níveis de precipitação acima de 30mm (120 pulsos) em intervalos de 30 minutos – o dobro da precipitação máxima recomendada. Como em outros lugares



do Brasil são registradas chuvas muito mais intensas, é imperativo que se produzam estudos que possam aferir confiabilidade à medidas que se supõe precisas.

Além disso, os estudos que visam aumentar a resolução das redes baseadas em TBs mostraram que, não raramente, existem momentos (minutos) em que a precipitação observada pode ultrapassar 200 mm/h (Habib, 2001), o que ultrapassa, em muito, a especificação para as quais os equipamentos foram desenvolvidos.

Os motivos expostos podem, em conjunto ou individualmente, explicar os resultados iniciais dos testes realizados com o TB modelo RG 200, fabricado pela Global Water, instalado na estação Parque Barigüi e removido para estudos após 14 meses de utilização; testes esses que serão descritos a seguir.

O equipamento foi conectado a um *datalogger* modelo GL300 e nivelado com auxílio de um nível comum. Um dispositivo foi montado para gotejar água de maneira controlada por sobre o funil, de forma a simular a precipitação.

Entretanto, como o objetivo do gotejador é o de simular diversas intensidades de precipitação atmosférica, é necessário que a velocidade de gotejamento seja mantida constante ao longo dos experimentos.

Bombas peristálticas são os equipamentos mais adequados para produzir vazões pequenas e constantes ao longo do tempo, mas como não havia disponibilidade desse equipamento, foi proposto e testado um sistema que, como ficou provado ao longo dos experimentos, é também bastante preciso e confiável, sendo mais facilmente reproduzível em ambiente de laboratório.

Utilizou-se uma bureta comum, marca Pirex, com capacidade para 100 ml, fixada a uma haste de suporte. Um reservatório auxiliar (bombona com capacidade para 5 litros) foi instalada em posição adequada para que, por sifonamento, re-alimentasse a proveta ao longo dos experimentos, mantendo o nível dessa praticamente inalterado durante o gotejamento.

Por último, decidiu-se pela utilização de água deionizada, posto que a pequena torneira de vidro que controla o gotejamento da bureta tende a entupir-se em caso da utilização de água comum, alterando por consequência a velocidade de gotejamento.

A água gotejada, após passar pelo TB, era coletada e conduzida a um recipiente de acumulação - balão volumétrico de fundo chato, marca Pirex, com

capacidade para 1 litro. Ao final de cada ensaio, o volume coletado era cuidadosamente medido, sendo anotado o tempo total do ensaio e registrado o número de pulsos gerados pelo TB.

Detalhes do ensaio e um esquema de construção pode ser observado na Figuras 71, 72, 73 e 74.

FIGURA 71 – ESQUEMA DOS ENSAIOS DO MEDIDOR DE PRECIPITAÇÃO

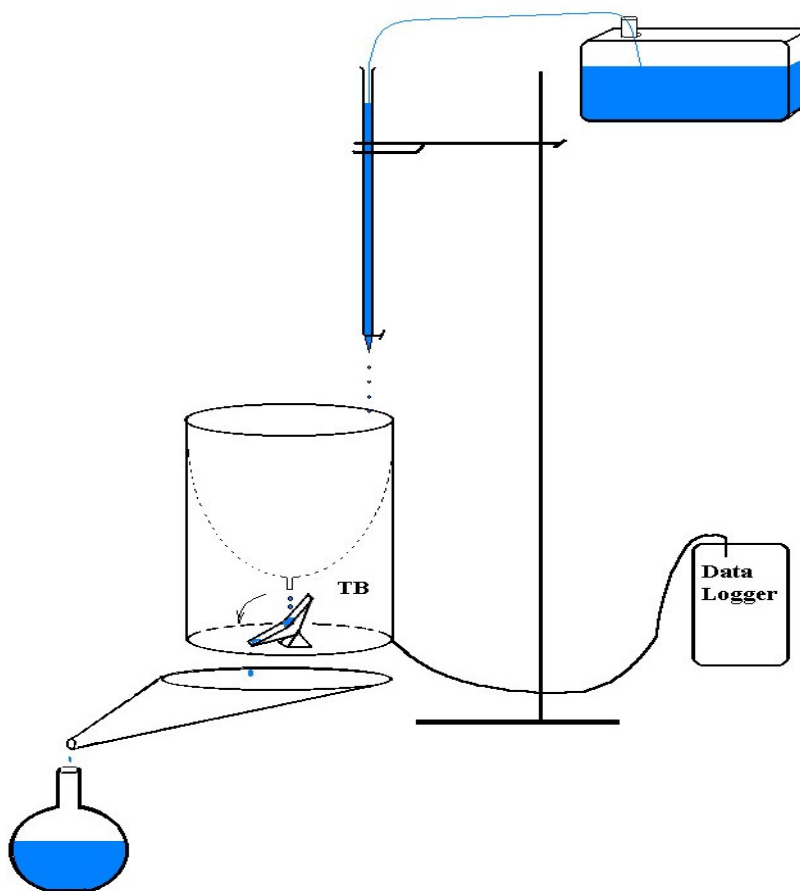


FIGURA 72 – ENSAIOS DO MEDIDOR DE PRECIPITAÇÃO



FIGURA 73 – DETALHE DOS ENSAIOS DO MEDIDOR DE PRECIPITAÇÃO

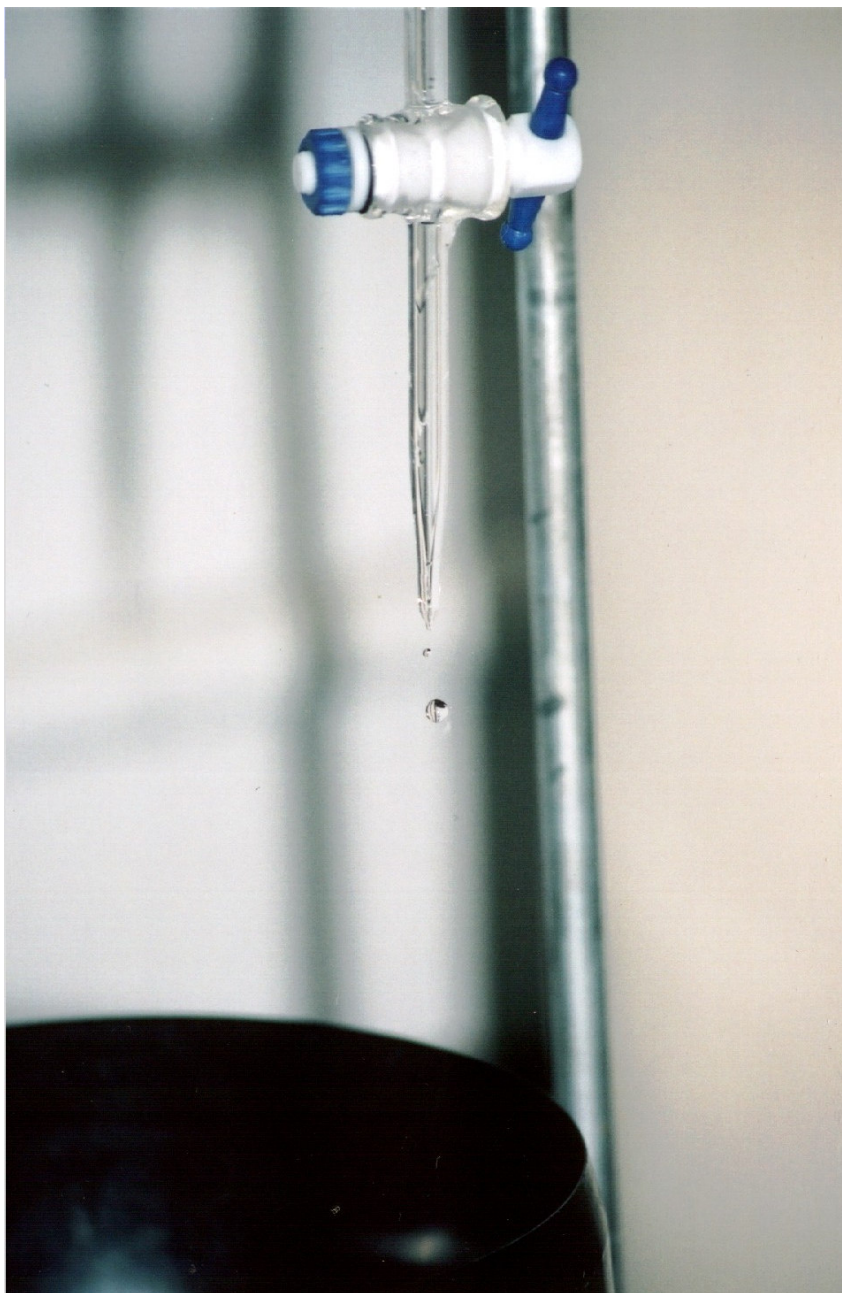
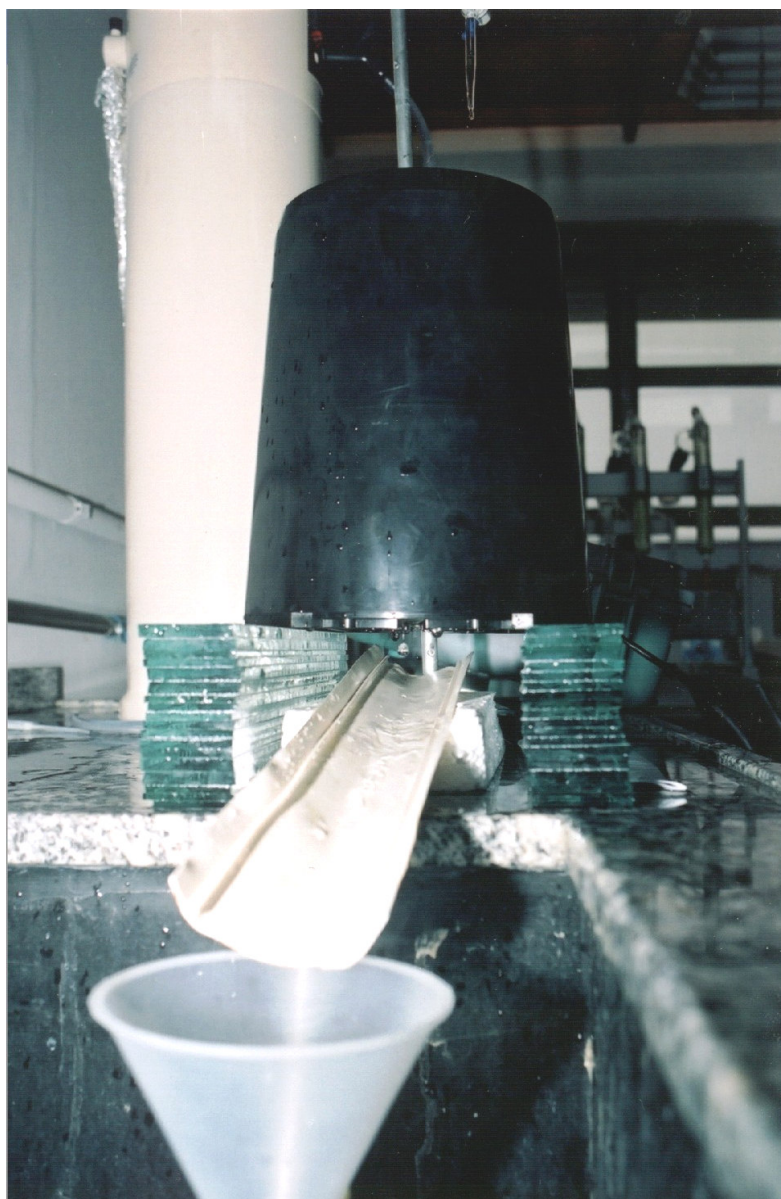




FIGURA 74 – DETALHE DOS ENSAIOS DO MEDIDOR DE PRECIPITAÇÃO



A análise prévia do TB utilizado nos ensaios não indicava qualquer alteração que pudesse comprometer o processo de medição. O equipamento foi lavado, secado, nivelado e mantido na mesma posição ao longo dos experimentos.

Entretanto, logo nos primeiros ensaios ficou claro que o equipamento estava registrando um volume maior que os 0,254 mm a cada pulso, diferentemente do informado pelo fabricante. Decidiu-se então realizar uma bateria de testes para verificar, detalhadamente, a resposta do aparelho.

Considerando que o gotejamento era feito em um único ponto do funil, na meia altura da peça e como Curitiba apresenta alta umidade relativa do ar, por serem os ensaios de curta duração e realizados em ambiente fechado, não foi necessário efetuar controle de evaporação. Os resultados desses experimentos estão apresentados na Tabela 11.

TABELA 11 – RESPOSTA DO SENSOR DE PRECIPITAÇÃO RG200

Precipitação (mm/h)	Tempo Total do Experimento (s)	Volume Medido (ml)	N° de Pulsos Registrados	Precipitação Média por Pulso (mm)	Desvio % em Relação ao Pulso Médio Geral	Desvio % em Relação ao Valor Informado pelo Fabricante
92.84	1815	1000,8	149	0.3141	1.5	23.7
92.75	1823	1004.3	148	0.3174	2.5	24.9
62.41	2708	1003.9	150	0.3130	1.1	23.2
62.19	2743	1013.2	148	0.3202	3.4	26.0
62.11	2729	1006.8	147	0.3203	3.5	26.1
43.13	3914	1002.7	155	0.3025	-2.3	19.1
43.37	3903	1005.3	158	0.2976	-3.9	17.2
40.08	4209	1001.9	153	0.3062	-1.1	20.6
18.20	9316	1007.0	160	0.2943	-4.9	15.9
			Média Geral da Precipitação por Pulso = 0.310 mm		Precipitação por Pulso Informada pelo Fabricante = 0.254 mm	

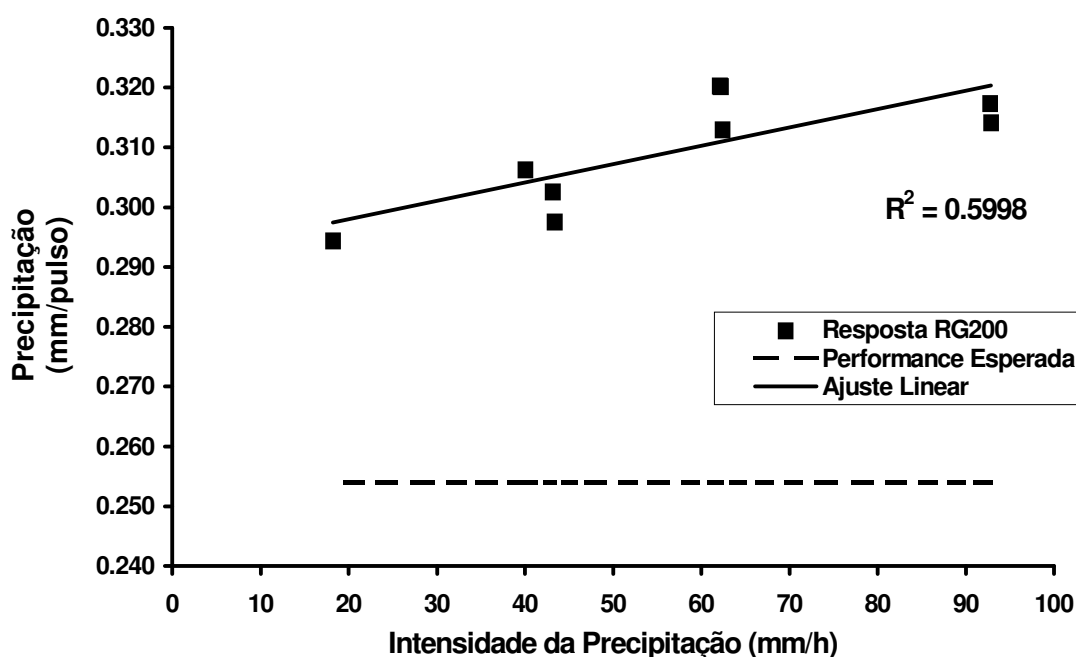
A princípio, o que se destaca é a diferença significativa entre o valor da precipitação informado pelo fabricante e o valor médio real, obtido a partir dos experimentos. Esses últimos demonstraram claramente que cada pulso corresponde à cerca de 0,31mm, enquanto se esperava obter algo em torno de zero, 25, uma diferença de mais de 20% por pulso.

Se esse equipamento fosse utilizado em campo sem que essa diferença fosse levada em conta, o resultado seria a sub-avaliação sistemática da precipitação ocorrida. No caso do sensor em questão, se 1000 mm fossem precipitados, o equipamento responderia com cerca de 3230 pulsos, o que seria interpretado pelo usuário como sendo equivalentes a uma precipitação de cerca de 820 mm – uma sub-medição média da ordem de 18%.

Entretanto, essa não é a única conclusão que pode ser obtida a partir dos dados apresentados na Tabela 8. Observa-se que a resposta do sensor é dependente da intensidade da precipitação, fato compatível com a afirmação de Habib.

Na Figura 75, é possível observar a tendência de aumento da medida de precipitação por unidade de pulso, na medida em que a chuva simulada se torna mais intensa.

FIGURA 75 – PERFORMANCE DO SENSOR RG 200



Decidiu-se então pela realização de um procedimento de limpeza nas peças móveis do equipamento, que foram cuidadosamente desmontadas, lavadas com água corrente, secadas sem contato físico e, finalmente, re-montadas na base do equipamento.

Os ensaios, conforme descritos anteriormente, foram repetidos, na esperança de que os valores dos pulsos, em milímetros, viessem a se aproximar do que fora determinado pelo fabricante. Infelizmente, o que ocorreu foi exatamente o oposto, indicando que o procedimento de limpeza, de alguma forma não detectada, contribuiu para a piora do desempenho do equipamento. Na Tabela 12, são apresentados os resultados dos testes no sensor RG200, após o procedimento de limpeza.

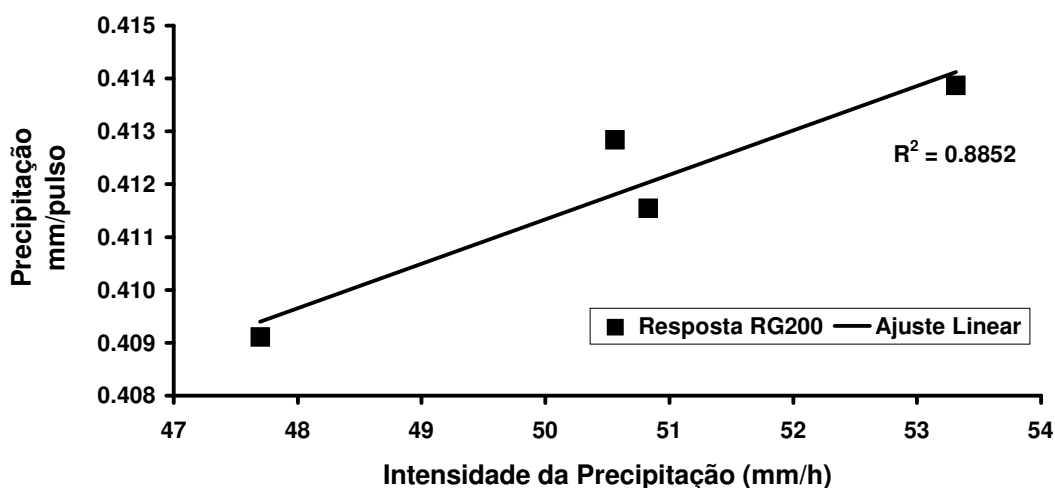
TABELA 12 – RESPOSTA DO SENSOR RG200 APÓS A REALIZAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE LIMPEZA

Precipitação (mm/h)	Tempo Total do Experimento (s)	Volume Medido	N° de Pulsos Registrados	Precipitação Média por Pulso (mm)	Desvio % em Relação ao Pulso Médio Geral	Desvio % em Relação ao Valor Informado pelo Fabricante
53.31	3158	1000	113	0.4139	0.5	62.9
50.83	3323	1003.2	114	0.4116	-0.1	62.0
50.56	3410	1024	116	0.4128	0.2	62.5
47.70	3551	1006	115	0.4091	-0.7	61.1
			Média Geral da Precipitação por Pulso = 0.412 mm		Precipitação por Pulso Informada pelo Fabricante = 0.254 mm	



Nesse caso a precipitação média que seria anotada para cada pulso registrado deveria ser de 0,4118 mm, o que difere em mais de 60% dos 0,254 mm indicados pelo fabricante. Entretanto, mesmo com a pequena quantidade de experimentos realizados, foi possível observar, novamente, a tendência de aumento do volume basculado quando a precipitação é mais intensa. Na Figura 76, esse efeito é facilmente observável.

FIGURA 76 – PERFORMANCE DO SENSOR RG200 APÓS O PROCEDIMENTO DE LIMPEZA



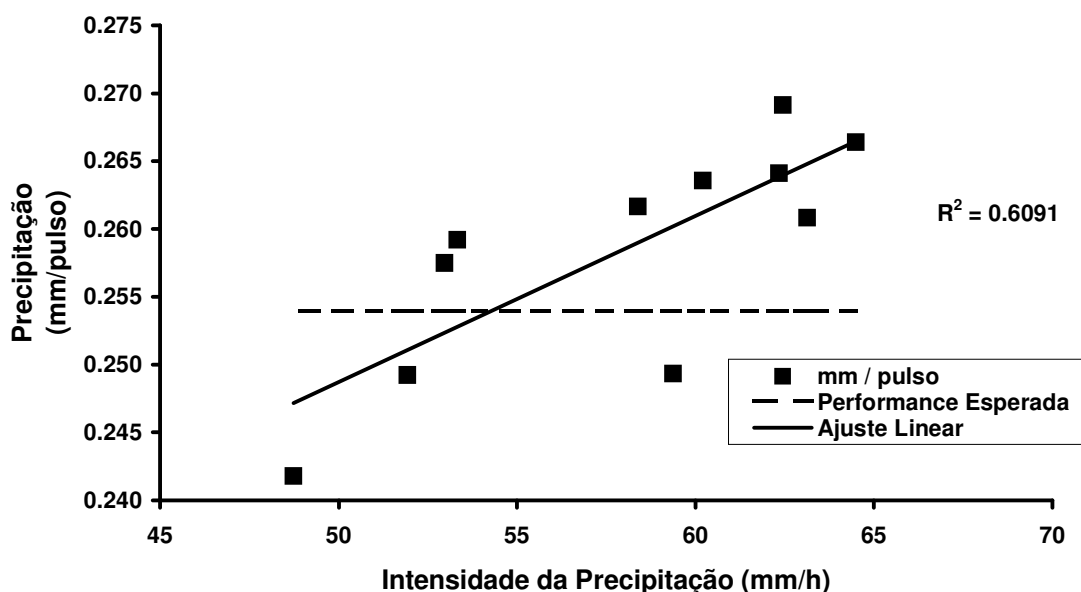
Para efeitos de comparação, um TB modelo RG 600, também produzido pela Global Water Inc., novo e sem uso, foi ensaiado utilizando-se os mesmos procedimentos já descritos. Os resultados dos experimentos são apresentados na Tabela 13.

TABELA 13 – RESPOSTA DO SENSOR RG600, SEM USO

Precipitação (mm/h)	Tempo Total do Experimento (s)	Volume Medido	N° de Pulsos Registrados	Precipitação Média por Pulso (mm)	Desvio % em Relação ao Pulso Médio Geral	Desvio % em Relação ao Valor Informado pelo Fabricante
22.95	4881	1009.3	120	0.2594	-0.1	2.1
25.38	4395	1004.8	116	0.2671	2.9	5.2
26.90	4165	1009.4	118	0.2638	1.6	3.9
48.69	2342	1027.3	131	0.2418	-6.8	-4.8
51.26	2188	1010.3	125	0.2492	-4.0	-1.9
52.39	2123	1002	120	0.2575	-0.8	1.4
52.50	2133	1008.7	120	0.2592	-0.1	2.0
58.32	1922	1009.8	119	0.2617	0.8	3.0
58.67	1943	1026.9	127	0.2493	-3.9	-1.8
59.78	1873	1008.6	118	0.2636	1.6	3.8
60.81	1845	1010.7	118	0.2641	1.8	4.0
62.44	1800	1012.4	116	0.2691	3.7	6.0
62.76	1788	1010.8	117	0.2664	2.7	4.9
63.09	1801	1023.5	121	0.2608	0.5	2.7
			Média Geral da Precipitação por Pulso = 0.260 mm		Precipitação por Pulso Informada pelo Fabricante = 0.254 mm	

Dessa vez, os valores observados nos experimentos diferem pouco do esperado, sendo que a média apresenta-se deslocada em relação ao previsto pelo fabricante em apenas 2,2%. Entretanto, é possível observar, novamente, a tendência de registro de volumes ligeiramente maiores quando a intensidade da precipitação aumenta. Essa tendência é mais bem observada na Figura 77.

FIGURA 77 – PERFORMANCE DO SENSOR RG600, SEM USO



Pode-se observar que o equipamento, embora novo, também apresenta inconsistências de medição. Embora os ensaios tenham produzido resultados mais próximos dos esperados 0,254 mm/pulso, observa-se, claramente, a tendência de sub-medição de precipitações intensas.

Os valores médios da precipitação por pulso ficaram entre 0,2418 e 0,2691 mm. Para precipitações de cerca de 60mm/h, a sub-medição já atinge cerca de 6%, isto com um equipamento novo, calibrado em fábrica, em perfeitas condições de uso e ensaiado em laboratório, sem a presença de movimentação de ventos ou outras interferências.

Por outro lado, não foi possível localizar nas estações em funcionamento próximas, um equipamento do mesmo modelo que pudesse ser retirado de operação para a realização de testes comparativos. Portanto, somente com a realização de experimentos nos quais a performance desse tipo de equipamento pudesse ser avaliada freqüentemente, seria possível verificar o efeito da exposição do equipamento às intempéries.

Entretanto, os resultados obtidos para o sensor RG200 podem ser um indicativo de que há problemas bastante sérios na produção de dados pluviométricos baseados na tecnologia dos TBs.

## 5.6 ANÁLISE CRÍTICA

O resultado das experiências em laboratório levanta várias dúvidas sobre o grau de confiança a ser depositado na tecnologia do monitoramento eletrônico baseada em TBs e sensores de nível do tipo submersível. Os erros significativos observados em medidas de nível e precipitação precisam ser acessados e compreendidos pela comunidade científica para que não se baseiem estudos profundos em dados de qualidade duvidosa.

Por esses motivos, é importante estabelecer critérios de avaliação dos equipamentos e, se possível, realizar testes comparativos de longa duração com equipamentos de procedências diferentes.

Também fica evidente a importância de se avaliar os sensores em condições brasileiras, pois o clima predominantemente tropical de nosso país pode causar desvios nas medições esperadas.

No caso dos medidores de precipitação, são necessários estudos que visem o aprofundamento do conhecimento sobre a performance dos TBs, em especial quando sujeitos à precipitação intensa.

É importante verificar a possível influência térmica sobre as medidas produzidas por sensores de nível.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Historiadores recentes têm sempre a tendência de utilizar por demais o olho crítico. Aparentemente, somente aos que vivem os fatos e aos que o enxergam de longe é facilitado compreender as razões da história.

Da mesma forma, ao se realizar um trabalho que busca analisar experiências que não foram muito bem sucedidas, é necessário encontrar uma visão mais abrangente, mais moderada.

Se a montagem de estações de monitoramento eletrônico na Bacia do Rio Barigüi tivesse que ser avaliada apenas pelos resultados que se pretendia alcançar, a experiência poderia ser classificada como infrutífera. Entretanto, o que se aprendeu sobre os equipamentos, suas fragilidades e seus pontos fortes é inestimável.

Em primeiro lugar, tudo indica que a aplicabilidade da tecnologia tem de ser re-pensada. Existem, como ficou demonstrado nessa pesquisa, limitações que precisam ser levadas em conta pelos pesquisadores antes que se decida pela compra de equipamentos.

O caso dos sensores de qualidade da água é emblemático. Nenhum dos sensores testados nesta pesquisa resistiu às condições de trabalho as quais, ao menos na parte alta da bacia, não eram especialmente problemáticas.

Acredita-se que, baseada na tecnologia atual, seja extremamente improvável que sensores de qualidade da água possam funcionar adequadamente nas condições brasileiras. Como esse tipo de sensor é bastante caro, é necessário considerar com muito cuidado a utilização de sensores individuais ou sondas multi-paramétricas. É preciso se ter em mente que, por melhor que os equipamentos sejam construídos, é necessária manutenção e calibração constante, feita por pessoal especializado, o que pode vir a inviabilizar o estudo.

Por outro lado, o estudo revelou que existem motivos para preocupação mesmo nos casos em que a utilização de sensores automáticos é considerada eficiente. O estudo que pretendia alcançar prioritariamente os sensores de qualidade da água, acabou por ter seu enfoque mais concentrado sobre os sensores de precipitação e nível – justamente os que se considerava menos sujeitos a problemas operacionais.

Eram esperados problemas operacionais nos sensores de nível, pois esses problemas foram identificados mesmo antes do início desse trabalho. Entretanto, acreditava-se que a causa principal dos insucessos observados estava relacionada à utilização de um esquema de instalação focado excessivamente nos parâmetros de qualidade, o que é apenas parcialmente verdadeiro.

As limitações operacionais dos sensores de nível e a descoberta da possibilidade de que influências térmicas possam estar alterando as medições desejadas alerta para que, ao menos, se verifique periodicamente as condições de trabalho dos sensores, buscando nas análises de campo observar a possibilidade de haver processos térmicos interferentes.

A identificação de problemas no desempenho dos pluviômetros, relacionados à intensidade da precipitação, foram a grande surpresa desse trabalho, e talvez sua maior contribuição.

Dada a frequência com que ocorrem precipitações atmosféricas intensas em nosso país, torna-se necessário um estudo abrangente sobre a performance dos equipamentos hoje em operação, sob pena de se estar subestimando sistematicamente a precipitação ocorrida.

Em futuro próximo, está nos planos desse pesquisador tentar estabelecer padrões de verificação da performance de sensores de precipitação em campo, de forma que o problema levantado nessa pesquisa possa ser quantificado.

Todos os fatos expostos nesse documento reafirmam, mais uma vez, a importância da aplicação da ciência em experiências aparentemente pouco proveitosas – historicamente muitas descobertas científicas importantes se deram dessa maneira.

Guardadas as proporções, a realização desse estudo foi um aprendizado prazeroso, pois o pesquisador aprendeu a compreender a importância de estudos como os realizados na Bacia do Rio Barigüi, e as possibilidades que estudos como esse abrem aos que aceitam os desafios. Por esse motivo, é importante ressaltar mais uma vez as principais contribuições alcançadas nesse estudo.

Dentro desse contexto, cabe destacar as seguintes contribuições. Foi desenvolvida e testada uma metodologia específica para acompanhar e verificar o desempenho de sensores eletrônicos em operação, a qual procura identificar

cientificamente problemas, oferecendo ao operador uma ferramenta de análise e acompanhamento em campo.

O efeito da temperatura sobre sensores eletrônicos de nível foi identificado. Nesse caso é importante lembrar que a ocorrência de erros é mais significativa em lâminas d'água menores que 1,0 m. Como consequência, a extrapolação de vazões maiores, através da aplicação de curvas-chave, pode estar sendo feita com base em valores errados.

A identificação dos erros dos medidores de precipitação do tipo Tipping Bucket, e a constatação, na literatura, de que esse assunto voltou a ser foco de atenção é, talvez, o resultado mais importante dessa pesquisa. O fato desse tipo de medidor ser largamente utilizado no mundo e apresentar tendência à sub-medição em casos de precipitação intensa precisa ser abrangentemente estudado para que se possa identificar possíveis problemas nas medidas produzidas por esse tipo de aparelho.

A pesquisa também constatou a ineficiência da utilização de determinados sensores de qualidade da água em condições brasileiras. Não se conseguiu aproveitar nenhuma leitura entre duas estações ainda em operação o que, somado ao fato de as peças retiradas de uma terceira revelarem-se permanentemente danificadas atesta, mais uma vez, que é preciso cuidado ao se investir em sensores eletrônicos de qualidade de água, pois ainda não existem provas suficientes de que estes sensores podem ser utilizados em pesquisas científicas nesse país.

Como sugestão para estudos futuros, é necessário indicar a importância de se ampliar o escopo dessa pesquisa. No caso das influências térmicas sobre sensores de nível, por exemplo, somente através de um estudo mais amplo seria possível, de fato, avaliar o impacto dos desvios detectados em termos hidrológicos.

Os sensores de precipitação, por outro lado, precisam ser avaliados tanto em laboratório quanto regularmente em campo, de forma a evitar os erros observados nessa pesquisa. Adicionalmente, entende-se ser necessário um estudo abrangente, envolvendo diversos fabricantes e diferentes situações de instalação, o que viabilizaria uma maior confiança nos dados produzidos por esse tipo de equipamento.

Finalmente, ressalta-se a necessidade de se criar um fórum de debates sobre esse tipo de tecnologia. A troca de informações e experiências entre entidades

de pesquisa pode ser a única forma de evitar que quantidades significativas de capital e tempo sejam desperdiçados em equipamentos pouco confiáveis ou cujo desempenho em condições brasileiras não atenda as necessidades de nossa comunidade científica.



## REFERÊNCIAS

ALEXANDROPOULOS, C., LACOMBE, M., **WMO Laboratory Intercomparison Of Rain Intensity Gauges** (2005). Disponível em: [http://www.wmo.int/web/www/IMOP/publications/IOM-82-TECO\\_2005/Papers/3\(04\)\\_France\\_1\\_Alexandropoulos.pdf](http://www.wmo.int/web/www/IMOP/publications/IOM-82-TECO_2005/Papers/3(04)_France_1_Alexandropoulos.pdf), Acessado em: 25/05/2005

**Automatic Weather Stations.** Meteorological Service of Canada (2001). Disponível em : [http://www.msc-smc.ec.gc.ca/education/imres/42\\_instruments/4\\_2\\_1\\_8\\_autowxstations\\_e.cfm](http://www.msc-smc.ec.gc.ca/education/imres/42_instruments/4_2_1_8_autowxstations_e.cfm) Acessado em: 18/02/2005

CARTER, F., **Colossus and the Breaking of the Lorenz Cipher** (2000). Disponível em: <http://www.bletchleypark.org.uk/upload/Breaking%20the%20Lorenz%20cipher3.pdf> Acessado em 15/04/2005.

CEHPAR (2002) - PEN-04. Relatório Final, 230p.

CHELLA, M., FERNANDES, C.V.S., SANTOS, I., FERMIANO, G. Avaliação de Transporte de Sedimentos na Bacia do Rio Barigui. **XXI Congresso Latino Americano de Hidráulica**, São Pedro, 2002 CD-ROM.

CIACH, G. Local Random Errors in Tipping-Bucket Rain Gauge Measurements. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 20, n. 5, p. 752-759, May, 2003.

FANKHAUSER, R.; Influence of Systematic Errors From Tipping Bucket Raingauges on Recorded Rainfall Data. **Water Science and Technology**, v. 37, n. 11 p. 121–129, 1998.

FERNANDES, C.V.S, 2004. Projeto Barigui, Relatório Final, 200 p.

FERREIRA, A. B. H.; **Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**, Curitiba, Editora Positivo, 2004.

FREEMAN, L.A., CARPENTER, M.C., ROSENBERRY, D.O., ROUSSEAU, J.P., UNGER, R., McLEAN, J.S. Use of Submersible Pressure Transducers in Water-Resources Investigations in **Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey – Book 8-A3 – Instruments for Measurement of Water Level**. USGS, 2004. Disponível em: <http://pubs.usgs.gov/twri/twri8a3/pdf/twri8-a3.pdf>, Acessado em 25/05/2004

FULLER, B., **Data Loggers: The Next Generation**. Sensors Magazine February 1998. Disponível em: <http://www.sensorsmag.com/articles/1198/fun1198/main.shtml> Acessado em: 16/09/2004.

GLOBAL WATER – WATER QUALITY SENSORS INSTRUCTION MANUAL, 1997. Disponível em: <http://www.globalw.com/downloads/WQ/WQSensormanual.pdf>, Acessado em: 15/07/2003

GLOBAL WATER – LS-4 DATALOGGER SOFTWARE MANUAL, 1995.

GLOBAL WATER RG 200 MANUAL, 1997. Disponível em: <http://www.globalw.com/downloads/RG/RG200manual.pdf>, Acessado em: 15/07/2003.

GLOBAL WATER RG600 MANUAL, 1999. Disponível em: <http://www.globalw.com/downloads/RG/RG600manual.pdf>, Acessado em: 15/07/2003.

CAMPBELL SCIENTIFIC TE525 MANUAL (1998). Disponível em: <http://www.campbellsci.com/documents/manuals/te525.pdf>, Acessado em 17/07/2003.

GORDON, J.D. **Evaluation of Candidate Rain Gages for Upgrading Precipitation Measurement Tools for the National Atmospheric Deposition Program – Water Resources Investigations Report 02-4302**. USGS, 2003. Disponível em: <http://bqs.usgs.gov/precip/reports/Raingage/wri024302.html>, Acessado em 25/04/2004.

HABIB, E., KRAJEWSKI, W.F., KRUGER, A. Sampling Errors of Tipping-Bucket Rain Gauge Measurements. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 6, n. 2, p. 159-166, March/April, 2001.

KOIDE, S. (2005). Comunicação Pessoal

LA BARBERA, P., LANZA L.G., STAGI, L.; Tipping Bucket Mechanical Errors and their Influence on Rainfall Statistics and Extremes. *Water Science and Technology*, v. 45, n. 2, p. 1-10, 2002.

NYSTUEN, J.A. Relative Performance of Rain Gauges Under Different Rainfall Conditions. **Journal of Atmospheric and Ocean Technology**, v. 16, p. 1025-1043, 1999.

POLSON, K., **Crononology of Personal Computers** (2004). Disponível em: <http://www.islandnet.com/~kpolsson/comphist/> Acesso em: 15/09/2004.

RADTKE, D.B., WHITE, A.F., DAVIS, J.V., WILDE, F.D. Dissolved Oxygen in: **Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey – Book 9, 6-2, Collection of Water Data by Direct Measurement**. USGS, 1998. Disponível em: <http://water.usgs.gov/owq/FieldManual/Chapter6/Section6.2.pdf>, Acessado em: 24/05/2004

RADTKE, D.B., DAVIS, J.V., WILDE, F.D. Specific Electrical Conductance in: **Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey – Book 9 – Collection of Water Data by Direct Measurement**. USGS, 1975. Disponível em: <http://water.usgs.gov/owq/FieldManual/Chapter6/Section6.3.pdf>, Acessado em: 24/05/2004

RADTKE, D.B., Busenberg, E. WILDE, F.D., Kurklin, J.K.; pH in: **Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey – Book 9, 6-4, Collection of Water Data by Direct Measurement**. USGS, 2003. Disponível em: <http://water.usgs.gov/owq/FieldManual/Chapter6/Section6.4.pdf>, Acessado em: 24/05/2004

RADTKE, D.B., Kurklin, J.K., WILDE, F.D.; Temperature in: **Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey – Book 9, 6-4, Collection of Water Data by Direct Measurement**. USGS, 2004. Disponível em: <http://water.usgs.gov/owq/FieldManual/Chapter6/Section6.1.pdf>, Acessado em: 24/05/2004

SEVRUK, B.; Adjustment of Tipping-Bucket Precipitation Gauge Measurements, **Atmospheric Research**, v. 42, p. 237-246, 1996.

SEVRUK, B.; WMO Questionnaire on Recording Precipitation Gauges: State-Of-The-Art. **Water Science and Technology**, v. 45, n. 2 p. 139–145, 2002.

SIEMENS, **Instrumentação Industrial**, São Paulo, Editora Pedagógica e Universitária, 1979.

SRIKANTHAN, R., JAMES, R.A., MATHESON, M.J. **Evaluation of the Performance of Tipping Bucket Rain Gauge Under Field Conditions**. Bureau of Meteorology, Melbourne, 2002.

WATERLOG H-350 MANUAL, 2003. Disponível em <http://www.waterlog.com/downloads/manuals/Entire%20H-350%20Manual.pdf>, Acessado em: 12/05/2005.

## **ANEXO 1 – CAUSAS DO DESMONTE DA ESTAÇÃO PARQUE BARIGUI**

Já na primeira visita, a estação Parque Barigui encontrava-se inoperante. Nenhuma tentativa de efetuar contato com o datalogger teve sucesso, o que fez com que fosse decidido o desmonte dos equipamentos para estudo.

A causa do problema que levou a estação a apagar tornou evidente imediatamente após a primeira tentativa de remoção do datalogger. Um formigueiro havia se instalado por detrás da estrutura de suporte do datalogger, entre sua caixa plástica e a caixa metálica em que o equipamento está instalado.

Por medida de segurança, os dataloggers foram instalados dentro de caixas metálicas do tipo padrão para entrada de eletricidade, as quais foram fixadas na parte alta de postes de concreto, a cerca de 4 metros do solo. Dutos metálicos conduzem os cabos dos sensores para dentro desta caixa.

Ocorre que o ambiente, por ser seguro, pouco úmido, e relativamente quente durante o inverno devido a exposição ao sol, acaba por se tornar um abrigo ideal para insetos e outros animais, pois um ninho de sabiá foi encontrado no espaço interno da estação Piá Ambiental, sendo que o pássaro penetrou a caixa metálica por uma pequena abertura deixada quando da instalação dos equipamentos. Felizmente estes animais não costumam prejudicar o funcionamento das estações, mas sua presença indica vulnerabilidade das instalações que deveriam proteger os equipamentos.

Ainda durante nossa pesquisa foi observada a tentativa de instalação de um novo ninho de formigas dentro do datalogger da estação Tamandaré, confirmando que o ambiente precisa ser cuidadosamente protegido, especialmente contra a ação de insetos, a qual pode ser muito danosa ao funcionamento das estações.

Teoricamente a caixa plástica do datalogger é hermeticamente fechada, posto que existe no equipamento em questão um fecho de pressão que pressiona a guarnição emborrachada da tampa e veda a caixa para que seja evitada a possibilidade de corrosão do circuito eletrônico pela umidade da atmosfera. Tal proteção deveria ter sido suficiente para evitar que formigas entrassem e causassem estragos.

Entretanto, existem orifícios na parte inferior da caixa, os quais são destinados à passagem dos cabos dos sensores. Cada um deles é dotado de um

dispositivo plástico destinado a fazer a proteção dos cabos contra torção ou tração. Como os dataloggers raramente são instalados com todos os sensores que comportam, alguns destes orifícios ficaram abertos, embora isto não possa ser observado à primeira vista, pois as proteções plásticas para os cabos, de cor preta, dificultam a observação.

No caso do datalogger da estação Parque Barigüí, uma parte do formigueiro acabou por se instalar dentro do datalogger, por detrás das placas do circuito eletrônico. O ácido fórmico liberado pela colônia acabou por provocar oxidação grave das trilhas e dos pontos de solda do circuito, causando a pane do equipamento.

Formigas também foram encontradas nos conduites metálicos e dentro do sensor de precipitação, demonstrando cabalmente que é necessária uma atenção especial dos operadores para este problema. Dutos para a passagem de fios precisam ser vedados eficientemente, pois são vias de acesso para as caixas metálicas em que os dataloggers são normalmente instalados. Orifícios para passagem de fios existentes nas caixas plásticas dos dataloggers precisam ser cuidadosamente vedados, pois é através deles que os insetos podem penetrar no equipamento e causar danos importantes.

Felizmente, após cuidadosa limpeza das placas seguida da recuperação das trilhas do circuito impresso e das soldas afetadas pelo ácido, surpreendentemente o datalogger da estação Parque Barigüí voltou a operar.

Entretanto, dada a extensão dos danos ocorridos, o equipamento foi reservado para pesquisa em laboratório pois, embora esteja funcionando adequadamente e não tenha sido observado nenhum comportamento estranho ao longo de todos os experimentos que foram realizados por este pesquisador, não é possível garantir que este desempenho possa ser mantido em ambiente externo. O verniz protetor da placa do circuito foi afetado e, em algumas partes do circuito, destruído pelo ácido fórmico. Sua ausência facilitaria nova oxidação das trilhas da placa do circuito caso o equipamento fosse posto em operação em estações de monitoramento.

Embora tenha sido causa última da falha geral da estação, a infestação das formigas não encerra os conhecimentos que foram coletados ainda durante a operação de desmonte da estação. A retirada dos sensores eletrônicos de seu

suporte revelou que aqueles se apresentavam sujos em tal grau que dificilmente poderiam produzir qualquer dado aproveitável, mesmo que o datalogger estivesse ainda em funcionamento.

Uma mistura de limo, barro e outros detritos diversos formavam uma camada de sujeira que dificultava a visualização dos transdutores mais expostos, indicando visualmente que não havia a menor possibilidade de haver condição operacional para os sensores de pH, OD e Condutividade. O sensor de temperatura, por ser hermeticamente blindado, provavelmente estaria em condições de operar, havendo uma grande incógnita quanto à influência da sujeira sobre o sensor de nível.

É importante salientar que o lago do parque Barigüí, supostamente, propicia oportunidade para sedimentação dos sólidos carregados pelo rio, pois o rio deságua no lago exatamente no lado oposto ao do vertedouro, onde se encontrava instalada a estação.

Também vale a pena informar que a plataforma por sobre a qual os sensores estavam instalados é móvel, o que permitiria, a princípio, que os sensores fossem limpos regularmente. Informações que obtivemos posteriormente dão conta que a limpeza dos sensores era efetuada com certa regularidade, o que torna ainda mais espantoso o grau de deterioração aparente que os atingia.

No final dos experimentos, um novo datalogger foi instalado no local. Desta feita, as aberturas do aparelho foram cuidadosamente fechadas com cola de silicone, de forma a impedir a entrada de insetos.

Para a surpresa de todos, bastaram 30 dias para que um novo ninho de formigas se estabelecesse dentro do equipamento, o qual, por pouco não foi danificado.

Descobriu-se então que o aro de vedação da porta do datalogger, embora aparentasse ser hermeticamente fechado, não vedava corretamente o equipamento, permitindo a entrada dos insetos. Estes parecem gostar do lugar, e a ele retornaram assim que os equipamentos foram re-instalados.

Da experiência, fica o alerta para que se observe com cuidado o grau de vedação oferecido pelos compartimentos dos dataloggers, pois a infestação por insetos pode causar grandes problemas e, em alguns casos, inutilizar a estação.

